

UJIAN PROMOSI
STUDI MODEL PERUBAHAN MORFOLOGI DASAR
SALURAN TANAH AKIBAT BANGUNAN KRIB

*Model Study Of Morphological Changes In The Base
Morphology Of Soil Channels Due To Groyne Structure*

AMRULLAH M.
D013181010



PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023

PENGAJUAN DISERTASI

**STUDI MODEL PERUBAHAN MORFOLOGI DASAR
SALURAN TANAH AKIBAT BANGUNAN KRIB**

Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor
Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

**AMRULLAH M.
D013181010**

Kepada

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

DISSERTATION SUBMISSION PAGE

***MODEL STUDY OF MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE
BASE MORPHOLOGY OF SOIL CHANNELS DUE TO
GROYNE STRUCTURE***

*Dissertation
as one of the Requirements for Achieving a Doctoral Degree
Study Program Civil Engineering
Prepared and Submitted by*

AMRULLAH M.

D013181010

to

***CIVIL ENGINEERING DOCTORAL DEGREE
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF ENGINEERING
HASANUDDIN UNIVERSITY
GOWA, INDONESIA
2023***

PERSETUJUAN DISERTASI

**STUDI MODEL PERUBAHAN MORFOLOGI DASAR
SALURAN TANAH AKIBAT BANGUNAN KRIB**

Disusun dan diajukan oleh :

AMRULLAH M.

D013181010

Telah diperbaiki dan memenuhi syarat untuk melaksanakan

Ujian Tutup/Prapromosi pada Agustus 2023

Menyetujui:

Komisi Penasehat,



Prof. Dr. Ir. Marv Selintung, M.Sc.

Promotor



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

Co-Promotor 1



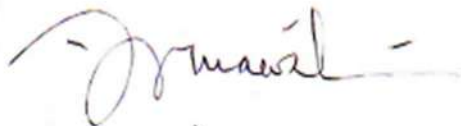
Dr. Eng. Ir. H. Mukhsan Putra Hatta, S.T., M.T.

Co-Promotor 2

Mengetahui:

Ketua program Studi S3 Teknik Sipil

Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Rita Irmawaty, S.T.MT.

NIP.197206192000122001

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Amrullah M.

Nomor Mahasiswa : D013181010

Program Studi : Teknik Sipil

Dengan ini saya menyatakan bahwa, disertasi berjudul “Studi Model Perubahan Morfologi Dasar Saluran Tanah Akibat Bangunan Krib” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc., sebagai Promotor dan Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Saleh Pallu, M.Eng., sebagai co-promotor-1 serta Dr. Eng. Ir. H. Mukhsan Putra Hatta, S.T, M.T., sebagai co-promotor-2. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Jurnal IOP Publishing Conf. Series: Earth and Environmental Science 419 (2020) 012121 DOI 10.1088/1755-1315/419/1/012121 sebagai artikel dengan judul *Experimental study the effect of turbulent flows in bend channels as to a result of vegetation groin structure on permeable type* dan Jurnal IOP Publishing Conf. Series: Earth and Environmental Science 841 (2021) 012031 DOI 10.1088/1755-1315/841/1/012031 sebagai artikel dengan judul *Measurement of Turbulent Flows and Shear Stress on Open Channels* serta Jurnal Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-15 ISBN 978-623-7635-91-8, KA-05 hal 202-210 sebagai artikel dengan judul analisis pengaruh perubahan kecepatan aliran akibat krib permeabel pada saluran terbuka. Judul artikel Internasional *Model Study of Morphological Changes in the Base Morphology of Soil Channels Due to Groyne Structure*, dipublikasi pada journal *Design Engineering* dengan publisher Rogers Media Publishing Ltd. ISSN: 0011-9342. Year 2023. Issue;1 page 457-470.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin

Gowa, 25 Oktober 2023

AMRULLAH M.
NIM D013181010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas limpahnya rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini, dengan judul **“Studi Model Perubahan Morfologi Dasar Saluran Tanah Akibat Bangunan Krib”**. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam proses penyelesaian Disertasi banyak mengalami hambatan-hambatan, maupun bersifat teknis maupun non teknis. Oleh karena itu atas berkat doa, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga Disertasi ini dapat diselesaikan dengan baik, walaupun belum sempurna. Oleh karenanya pada kesempatan ini perkenankan penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

- 1) Bapak Prof. Dr.Ir. H. Muh. Isran Ramli, MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar,
- 2) Bapak Prof.Dr.H. Muhammad Wihardi Tjaronge, S.T, M.Eng. sebagai Ketua Departemen Teknik Sipil dan Dosen Pembimbing Akademik.
- 3) Ibu Prof. Dr. Eng. Ir. Rita Irmawati, M.T. selaku Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
- 4) Bapak Prof. Ir. Mary Selintung, M.Sc. sebagai Promotor, Prof. Dr. Ir.H. Muhammad Saleh Pallu, M.Eng. sebagai Co-Promotor, dan Dr. Eng. Ir. H. Mukhsan Putra Hatta, M.T., sebagai Co-Promotor atas bimbingan dan arahnya yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat sampai dengan penulisan disertasi ini,
- 5) Bapak Prof.Dr.Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., Sebagai penguji internal, Prof. Dr.Ir. H. Abdul Rachman Djamaluddin, M.T. sebagai penguji internal, Dr.Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, M.T. sebagai penguji internal, Prof. Dr.Eng. Ir. H. Farouk Maricar, M.T. sebagai penguji internal
- 6) Ibu Dr. Ir. Tiny Manonama, M.T. Dosen Universitas Sam Ratulangi Manado, selaku penguji Eksternal atas kesediaan waktunya untuk memberikan arahan dan masukannya, demi perbaikan dan kesempurnaan naskah Disertasi ini.
- 7) Segenap dosen pengajar dan staff program Studi S3 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
- 8) Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa pascasarjana UNHAS Angkatan 2018 Program Teknik Sipil atas kerjasamanya selama ini, hingga pada tahap penyelesaian Disertasi.
- 9) Bapak Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag. selaku Rektor Unismuh Makassar, beserta Wakil Rektor I, Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, M.T., Wakil Rektor II, Prof. Dr.H. Andi Syukri Syamsuri, M.Hum, Wakil Rektor III, Dr. Muhammad Tahir, M.Si, Wakil Rektor IV, Dr.H. Mawardi Pewangi, M.Ag., serta jajarannya atas segala dukungan moril dan material, kesempatan kepada penulis dalam penyelesaian Disertasi.
- 10) Segenap sejawat bapak Dr.Burhanuddin, M.Si selaku ketua BPM, bapak Dr. Khaeruddin, M.Pd. selaku Ketua dan Dr. Rahmi, S.Pi., selaku Sekretaris BAPEPAN-MTI, serta rekan-rekan semua di BPM dan BAPEPAN-MTI atas dukungannya dan memberikan berperan ganda dalam penyelesaian Disertasi ini.

- 11) Segenap civitas Akademika Fakultas Teknik Unismuh Makassar, Ibu Dr.Ir. Hj. Nurnawaty, M.T, selaku Dekan, Bapak Ir. Muhammad Syafaat S. Kuba, S.T, M.T, selaku Wakil Dekan 1, Dr.Andi Makbul Syamsuri, S.T, M.T, selaku Dekan II, bapak Fausan Hamdi, S.T, M.T, selaku Wakil Dekan III, bapak Dr. Abd. Rahman, M.Ag. selaku dekan IV, serta rekan-rekan pimpinan prodi dan dosen Fakultas Teknik Unismuh Makassar atas dukungannya dalam penyelesaian Disertasi.
- 12) Orang tua tercinta yaitu Bapak **Mansida** (alm), Ibu **Buah Cani** (alm), Ibu Mertua **Habiba** (alm) dan ibu **H. Maryam** (alm), bapak **Saehe** (alm) serta istriku tercinta **Marlia** dan ananda **Fadhila Eka Rahayu Amrullah** dan **Ahmad Fairuz Amrullah** yang terus bersabar, memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian Disertasi ini.
- 13) Kakak-Adik-adiku, ipar para suami dan istrinya, kemanakan semua atas dukungan dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian Disertasi ini.
- 14) Semua keluarga besar Ambe Bata-Indo Riang dan Parissangi – Puang Sita atas dukungannya.
- 15) Seluruh pihak yang namanya tidak tercantum tetapi telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan disertasi ini.

Akhir kata penulis berharap Disertasi ini dapat berguna bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang persungai dengan pengaturan kecepatan aliran dan pencegahan gerusan di Sungai. Amin.

Makassar, 25 Oktober 2023

Amrullah M.

ABSTRAK

Amrullah M. Studi Model Perubahan Morfologi Dasar Saluran Tanah Akibat Bangunan Krib (Dibimbing oleh **Mary Selintung, Muhammad Saleh Pallu, dan Mukhsan Putra Hatta**).

Krib permeable sebagai hambatan aliran untuk mengatur dan mengurangi dampak kecepatan aliran. Hambatan aliran ini menyebabkan fenomena perubahan morfologi dasar sungai sebagai dampak dari fluktuasi kecepatan aliran secara tiba-tiba. Model penelitian menggunakan metode eksperimental dengan melakukan pengamatan secara visual, untuk mempelajari karakteristik aliran dan pergerakan sedimen sebagai salah satu parameter perubahan morfologi dasar saluran. Media penelitian menggunakan lebar saluran (b) 35 cm, tinggi (h) 45 cm dan panjang (L) 900 cm. Variasi penelitian digunakan; debit pengaliran (Q) dan kemiringan dasar saluran (S_0) masing-masing tiga variasi, kerapatan krib ($k_{k1}=0,09$ cm, $k_{k2}=0,12$ cm), (Jarak krib ($L_{k1}= 60$ cm, $L_{k2}= 90$ cm), diameter krib ($d_{k1}= 0,09$ cm, $d_{k2}= 0,17$ cm) masing-masing dua variasi. Pengukuran kecepatan aliran dengan current meter pada empat segmen dengan metode lima titik kedalaman dan sebelas titik berdasarkan arah lebar saluran. Pengambilan sampel volume angkutan sedimen dan pola gerusan dilakukan sebelum dan setelah ada krib permeabel. Penelitian ini menganalisis perubahan karakteristik aliran, perubahan morfologi dasar saluran dan persamaan empiris akibat bangunan krib permeabel serta divalidasi dengan persamaan empiris sebelumnya. Ditemukan karakteristik aliran dengan turbulen dan mengurangi kecepatan aliran sebesar 8,55%. Perubahan gerusan dasar saluran berbanding lurus dengan semakin besar jarak krib permeable (L_k), kerapatan krib (k_k) dan diameter krib (d_k), menunjukkan semakin besar angkutan sedimen dengan kountur semakin renggang, sedangkan semakin kecil jarak krib (L_k), kerapatan krib (k_k), dan diameter krib (d_k) permeable angkutan sedimen semakin kecil dengan kountur semakin rapat. Ditemukan persamaan empiris angkutan sedimen (q_b) akibat krib permeable. Hambatan kecepatan dan energi aliran cukup tinggi secara tiba-tiba menyebabkan fenomena resistensi turbulensi aliran dan gerusan di sekitar area krib permeable.

Kata Kunci: Bangunan krib, resistensi aliran, angkutan sedimen, perubahan morfologi dasar

ABSTRACT

Amrullah M. *Model Study of Morphological Changes in the Base Morphology of Soil Channels Due to Groyne Structure*

(Supervised by **Mary Selintung, Muhammad Saleh Pallu, dan Mukhsan Putra Hatta**)

The impact of flow velocity is effectively regulated and mitigated by permeable groynes, which also induce changes in riverbed morphology due to abrupt fluctuations in flow velocity. Therefore, this research investigated the effects of permeable groynes on flow characteristics, channel bottom morphology, and derived empirical equations to quantify their influence. The research media uses a channel width (b) of 35 cm, height (h) of 45 cm and length (L) of 900 cm, respectively, was utilized in the experimental setup. Several research variations were implemented, which involved three variations each of flow rate (Q) and channel bottom slope (S_o). Moreover, two variations of groyne density ($k_{k1}=0.09$ cm, $k_{k2}=0.12$ cm), distance ($L_{k1}= 60$ cm, $L_{k2}= 90$ cm), and diameter ($d_{k1} = 0.09$ cm, $d_{k2} = 0.17$ cm) were considered. To measure flow velocity, a current meter was employed at three segments, with five points each, to determine the flow depth in the vertical dir. Before and after the introduction of the permeable groyne, flow velocity measurements and sampling of sediment transport volume and scour patterns were conducted. This research analyzes changes in flow characteristics, changes in channel bed morphology and empirical equations due to permeable groin structures and is validated with previous empirical equations. The result showed that the flow characteristics were turbulent and reduced the flow velocity by 8.55% due to the presence of permeable groyne. Changes in channel bottom scour are directly proportional to the greater the distance of permeable groyne (L_k), the density of the groyne (k_k) and the diameter of the groyne (d_k), indicating that the greater the transport of sediment with the more tenuous the contour, while the smaller the groyne distance (L_k), the density of the groyne (k_k), and the diameter of the groyne (d_k) permeable sediment transport becomes smaller with the contour getting denser. The resulting empirical equations are the sediment transport equation (q_b) in permeable groynes. The relatively high resistance to flow velocity causes resistance to flow turbulence and scour and around the permeable groyne area.

Keywords: *Groyne Structure, Flow resistance, Sediment transport, Base changes morphology.*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL DEPAN	i
PENGAJUAN DISERTASI	ii
DISSERTATION SUBMISSION PAGE	iii
PERSETUJUAN DISERTASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Sistematika Penelitian	6
1.7 Kebaruan/novelty Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Hidrolika Aliran Sungai	7
2.1.1 Perlawanan Terhadap Aliran	7
2.1.2 Klasifikasi Aliran berdasarkan Angka Reynolds	8
2.1.3 Persamaan Empiris Kecepatan Aliran	8
2.1.4 Karakteristik Aliran Melewati Sebuah Benda	11
2.2 Morfologi Sungai	12
2.2.1 Gerusan Sungai	12
2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Gerusan	14
2.2.3 Mekanisme Gerusan	15
2.2.4 Tegangan Dasar Sungai	17
2.2.5 Gerak Awal Sedimen	18

2.2.6	Angkutan sedimen melayang (suspended load)	19
2.2.7	Angkutan Sedimen dasar (bedload)	20
2.2.8	Sifat sedimen gabungan	25
2.2.9	Gaya-gaya yang bekerja pada butiran sedimen dalam air	26
2.3	Bangunan Krib (Groyne Structure)	30
2.3.1	Klasifikasi Krib	30
2.3.2	Formasi Krib	34
2.3.3	Pemilihan Tipe Krib	35
2.4	Analisis Dimensi	35
2.5	Hipotesis	38
2.6	Penelitian Terdahulu	39
2.7	Kerangka Pikir Penelitian	48
BAB III METODE PENELITIAN		49
3.1	Bentuk dan jenis Penelitian	49
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	49
3.3	Rancangan Penelitian	49
3.3.1	Bahan penelitian	49
3.3.2	Peralatan	50
3.3.3	Perencanaan Model	52
3.3.4	Lokasi pengukuran	54
3.4	Variabel Penelitian	56
3.5	Analisis Penelitian	58
3.6	Bagan Alir Penelitian	61
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		63
4.1	Parameter Utama Data penelitian	63
4.1.1	Media tanah pasir sebagai media Sedimen Uji	63
4.1.2	Variable Data penelitian	63
4.1.3	Validasi Pengukuran Kecepatan Aliran dengan Kondisi Saluran Tanpa Krib Dengan Sedimen (TKDS)	64
4.2	Perubahan Karakteristik aliran akibat krib permeable	66
4.3	Perubahan Morfologi Dasar Saluran	70
4.3.1	Perubahan Morfologi Dasar Saluran Akibat Krib Permeabel	70
4.4	Pola Perubahan Morfologi Dasar Saluran Akibat Krib Permeabel	80
4.4.1	Pola perubahan Kecepatan Aliran akibat variasi jarak krib (Lk) dan kerapatan (kk) Krib Permeabel	80

4.4.2	Pola perubahan Kecepatan Aliran akibat variasi kemiringan saluran (S_o) pada jarak krib (L_k), kerapatan krib (kk), dan diameter krib (dk)	85
4.4.3	Pola perubahan gerusan dasar saluran akibat variasi jarak krib (L_k), kerapatan krib (kk), dan diameter krib (dk) pada pengaliran (Q_2)	95
4.4.4	Perubahan Pola gerusan dasar saluran akibat variasi kemiringan saluran (S_o) pada jarak krib (L_k), kerapatan krib (kk), dan diameter krib (dk)	102
4.5	Model Empiris perubahan Morfologi Dasar Saluran	114
4.5.1	Analisis Dimensi	114
4.5.2	Analisis dimensi untuk koefisien gaya seret (CD) pada bangunan krib permeable	115
4.5.3	Analisis Dimensi untuk angkutan sedimen (q_b) pada bangunan krib permeable	119
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		127
5.1	Kesimpulan	127
5.2	Saran	127
DAFTAR PUSTAKA		129
Lampiran 1. Analisa saringan sedimen (summary test results)		135
Lampiran 2. Analisa saringan sedimen (specific gravity test)		136
Lampiran 3. Analisa saringan sedimen (sieve analysis)		137
Lampiran 4. Diagram Shields hubungan tegangan geser kritis dengan bilangan Reynolds untuk intensitas sedimen dasar (Breuser dan Raudkivi, 1991)		139
Lampiran 5. Hasil pengukuran kecepatan aliran dan analisis bilangan Reynolds (Re) pada krib permeable		140
Lampiran 6. Analisis bilangan Reynolds dan Koefisien gaya gesek (CD) pada krib permeabel		141
Lampiran 7. Analisis gaya hambat FD empiris dan FD penel. pada krib permeable pada pengaliran (Q_1)		142
Lampiran 8. Analisis gaya hambat FD empiris dan FD penel. pada krib permeable pada pengaliran (Q_2)		143
Lampiran 9. Analisis gaya hambat FD empiris dan FD penel. pada krib permeable pada pengaliran (Q_3)		144

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Nilai M yang disarankan oleh Bazin	10
2.	Nilai koefisien kekasaran Manning (n)	10
3.	Nilai koefisien kekasaran Strickler (k_s)	11
4.	Faktor-faktor gerakan muatan dasar (<i>bed load movement</i>)	20
5.	Hubungan antara ψ dan τ_c	25
6.	Klasifikasi ukuran butir sedimen menurut Wentworth	25
7.	Persamaan Empiris untuk koefisien Drag Pelat Datar	28
8.	Bazin untuk Koefisien yang Tergantung pada Kekasaran Dinding (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986)	34
9.	Hubungan antara panjang dan interval krib (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986), (SNI 2400.1.2016)	34
10.	Arah Aliran dan Sudut Sumbuh Krib	34
11.	Analisis Dimensi untuk angkutan sedimen (q_b)	37
12.	Analisis Dimensi koefisien gesek/koefisien hambat (C_D) krib permeabel	37
13.	Data teknis penelitian simulasi model	53
14.	Dimensi model krib permeabel	56
15.	Data variasi penelitian	57
16.	Matrik Kebutuhan data Penelitian	59
17.	Matrik kebutuhan data penelitian	60
18.	Karakteristik Aliran dengan metode Bilangan Reynolds (Re) pada pegujian Tanpa Krib dengan Sedimen (TKDS)	66
19.	Karakteristik Aliran dengan metode Bilangan Reynolds (Re) pada pegujian Dengan Krib Dengan Sedimen (DKDS)	67
20.	Gaya Seret dan gerak Sedimen dengan Tanpa Krib dengan Sedimen (TKDS) disekitar krib permeabel	70
21.	Gaya Seret dan gerak Sedimen dengan Dengan Krib dengan Sedimen (DKDS) di sekitar krib permeabel	70
22.	Variable analisis dimensi koefisien gaya seret (C_D) bangunan krib permeabel	115
23.	Variabel-variabel analisis dimensi	119
23	Hasil Analisis Regresi liner Berganda dengan Angkutan Sedimen (q_b)	122

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	<i>Distorsi dari partikel Fluida ketika mengalir di dalam lapisan batas (Bruce R Monson, dkk, 2005)</i>	9
2.	<i>Ketebalan lapisan batas (a) ketebalan lapisan batas standar, (b) ketebalan perpindahan lapisan batas (Bruce R Monson, dkk., 2005)</i>	9
3.	<i>Hubungan kedalaman gerusan (ds) dengan waktu. (Breusers & Raudkivi, 1991)</i>	15
4.	<i>Hubungan kedalaman gerusan (ds) dengan kecepatan. (Breusers & Raudkivi, 1991)</i>	15
5.	<i>Mekanisme gerusan akibat pola aliran air disekitar pilar</i>	16
6.	<i>Aliran pada sekeliling silinder: (a) silinder yang tidak terendam pada alas datar yang kaku; (b) silinder tidak terendam dengan lubang gerusan; (c) silinder terendam di dasar datar kaku; dan (d) silinder terendam dengan lubang gerusan. (Imam R., 2019).</i>	17
7.	<i>Profil gaya pada dasar miring</i>	17
8.	<i>Proses pergerakan sedimen dasar (bedload) dan melayang (suspensi)</i>	22
9.	<i>Gaya – gaya dari fluida di sekeliling pada sebuah benda dua dimensi (Bruce R Monson, dkk., 2005)</i>	27
10.	<i>Gaya seret (drag force) dan gaya angkat (lift force) pada butiran sedimen (Muhammad Arsyad Thaha, 2006)</i>	28
11.	<i>Aliran turbulen disekitar slider (Muhammad Arsyad Thaha, 2006)</i>	29
12.	<i>Konstruksi krib permeabel</i>	30
13.	<i>Lokasi dan konstruksi krib impermeable</i>	31
14.	<i>Konstruksi krib semi permeable</i>	31
15.	<i>Formasi krib dan penggerusan-pengendapan pada dasar Sungai (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986).</i>	35
16.	<i>Kerangka Pikir Penelitian</i>	48
17.	<i>(a) Tanah – Pasir, (b) kayu bulat diameter krib permeable (dk1)= 9 mm, dan (c) diameter krib permeable (dk2)= 17 mm</i>	50
18.	<i>(a) Denah dan (b) tampak samping model flume</i>	51
19.	<i>Denah Penempatan krib permeabel pada model flume jarak krib 60 cm, kerapatan krib 9 mm dan diameter krib 17 mm</i>	52
20.	<i>Denah Penempatan krib permeabel pada model flume jarak krib 90 cm, kerapatan krib 9 mm dan diameter krib 17 mm</i>	52
21.	<i>Potongan melintang penempatan krib dan model flume</i>	52
22.	<i>Denah dan profil memanjang segmen titik pengukuran kecepatan aliran</i>	54
23.	<i>Media uji tanpa krib dengan sedimen (TKDS)</i>	55
24.	<i>Media uji dengan krib permeabel dengan sedimen (DKDS)</i>	55
25.	<i>(a) Profil melintang segmen titik pengukuran kecepatan aliran, (b) Diameter krib (dk1= 0.09 cm, jarak krib (Lk1= 60 cm), (c) diameter krib (dk2= 0.17 cm, jarak krib (Lk2= 90 cm) dan kerapatan krib permeabel (kk1= 0.9 cm, kk2=1.2 cm)</i>	55
26.	<i>Media uji dengan tanpa krib tanpa sedimen (DKTS) dan dengan krib tanpa sedimen (DSTS)</i>	56
27.	<i>(a) Diameter krib (dk1= 0.09 cm, jarak krib (Lk1= 60 cm) dan kerapatan krib (kk1=0.9 cm), (b) diameter krib (ak1= 0.17 cm, jarak krib (Lk2= 90 cm) dan kerapatan krib permeabel (kk2=1.2 cm)</i>	56
28.	<i>Bagan alir penelitian</i>	62
29.	<i>Kedalaman aliran (h) terhadap kecepatan aliran (u) pada variasi debit aliran (Q1) dan kemiringan dasar saluran (S). (a) Pengukuran kecepatan aliran arah melintang saluran sebelas belas bagian berdasarkan lebar saluran (b), (b) Pengukuran kecepatan</i>	

	<i>aliran lima titik berdasarkan kedalaman aliran (h) dan lokasi pengukuran sebanyak empat.</i>	64
30.	<i>Kemiringan dasar saluran (S) dengan Kecepatan Aliran (u)</i>	65
31.	<i>Debit Pengaliran (Q) dengan Kecepatan Aliran (u)</i>	66
32.	<i>Hubungan pengaruh Bilangan Reynolds (Re) dengan angkutan sedimen (qb)</i>	69
33.	<i>Visualisasi hasil pergerakan sedimen setelah ada krib (DKDS) di sekitar krib permeabel⁷³</i>	
34.	<i>Visualisasi hasil gerusan sedimen setelah ada krib Permeabel (DKDS) di sekitar krib permeabel.</i>	74
35.	<i>Hubungan kecepatan geser (u^*) dan kecepatan aliran (u) terhadap angkutan sedimen (qb), (a) variasi diameter krib (dk), (b) variasi kerapatan krib (kk).</i>	75
36.	<i>Hubungan kecepatan geser dan kecepatan aliran (u^*/u) terhadap angkutan sedimen (qb), pada variasi jarak krib (Lk)</i>	76
37.	<i>(a) Hubungan hidrolis gradien dengan kedalaman aliran (S/h) terhadap angkutan sedimen (qb) pada variasi diameter krib (dk), (b) variasi kerapatan krib (kk)</i>	77
38.	<i>Hubungan hidrolis gradien dengan kedalaman aliran (S/h) terhadap angkutan sedimen (qb) pada variasi jarak krib (dk)</i>	77
39.	<i>(a) Hubungan tegangan geser dasar (τ_0) terhadap angkutan sedimen (qb) pada variasi debit aliran (Q), (b) hubungan tegangan geser dasar (τ_0) terhadap peningkatan angkutan sedimen (qb) pada perubahan jarak krib (Lk).</i>	78
40.	<i>Hubungan tegangan geser (τ_0) terhadap angkutan sedimen (qb) (a) variasi kerapatan krib (kk), (b) variasi diameter krib (dk), terhadap angkutan sedimen (qb)</i>	79
41.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S2 pada debit pengaliran Q2</i>	81
42.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib pada kemiringan dasar saluran S1 dengan Q2 dk1 ak1 Lk1</i>	81
43.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib pada kemiringan dasar saluran S1 dengan Q2 dk1 ak1 Lk2</i>	81
44.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S2 pada debit pengaliran Q2</i>	82
45.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk1 kk2 Lk1</i>	82
46.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk1 ak2 Lk2</i>	82
47.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S2 pada debit pengaliran Q2</i>	83
48.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk2 kk1 Lk1</i>	83
49.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk2 kk1 Lk2</i>	83
50.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S2 pada debit pengaliran Q2</i>	84
51.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk2 kk2 Lk1</i>	84
52.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk2 kk2 Lk2</i>	84
53.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib dengan sedimen pada kemiringan dasar saluran S1 pada debit pengaliran Q2</i>	86
54.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib permeable dengan sedimen pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2</i>	86
55.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib permeable dengan sedimen pada kemiringan dasar saluran S3 pada Q2</i>	86

56.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S1, pada Q2 dk1 kk1 Lk1</i>	87
57.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S2, pada Q2 dk1 kk1 Lk1</i>	87
58.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S3, pada Q2 dk1 kk1 Lk1</i>	87
59.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S1, pada Q2 dk1 kk1 Lk2</i>	88
60.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S2, pada Q2 dk1 kk1 Lk2</i>	88
61.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S3, pada Q2 dk1 kk1 Lk2</i>	88
62.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S1, pada Q2 dk1 kk2 Lk1</i>	89
63.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S2, pada Q2 dk1 kk2 Lk1</i>	89
64.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S3, pada Q2 dk1 kk2 Lk1.</i>	89
65.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S1, pada Q2 dk1 kk2 Lk2</i>	90
66.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S2, pada Q2 dk1 kk2 Lk2</i>	90
67.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S3, pada Q2 dk1 kk2 Lk2</i>	90
68.	<i>Perubahan vektor pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S1, pada Q2 dk2 kk1 Lk1</i>	91
69.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S2, pada Q2 dk2 kk1 Lk1</i>	91
70.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S3, pada Q2 dk2 kk1 Lk1.</i>	91
71.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S1, pada Q2 dk2 kk1 Lk2</i>	92
72.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S2, pada Q2 dk2 kk1 Lk2</i>	92
73.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S3, pada Q2 dk2 kk1 Lk2</i>	92
74.	<i>Perubahan vektor pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S1, pada Q2 dk2 kk2 Lk1</i>	93
75.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S2, pada Q2 dk2 kk2 Lk1</i>	93
76.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S3, pada Q2 dk2 kk2 Lk1</i>	93
77.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S1, pada Q2 dk2 ak2 Lk2</i>	94
78.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S2, pada Q2 dk2 ak2 Lk2</i>	94
79.	<i>Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S3, pada Q2 dk2 ak2 Lk2</i>	94
80.	<i>Perubahan kountur pola gerusan tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S2 pada debit pengaliran Q2</i>	96
81.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk1 kk1 Lk1</i>	96

82.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk1 kk1 Lk2</i>	96
83.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk1 kk1 Lk2</i>	96
84.	<i>Perubahan kountur pola gerusan tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S2 pada debit pengaliran Q2</i>	97
85.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk1 kk2 Lk1</i>	97
86.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk1 kk2 Lk2</i>	97
87.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk1 kk2 Lk2</i>	98
88.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S2 pada debit pengaliran Q2.</i>	99
89.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk2 kk1 Lk1</i>	99
90.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk2 kk1 Lk2</i>	99
91.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada Q2 dk2 kk1 Lk2</i>	99
92.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S2 pada debit pengaliran Q2</i>	100
93.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada variasi Q2 dk2 kk2 Lk1</i>	100
94.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada variasi Q2 dk2 kk2 Lk2</i>	100
95.	<i>Perubahan pola kountur gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S2 pada variasi Q2 dk2 kk2 Lk2</i>	101
96.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S1 tanpa krib permeable dengan sedimen pada debit aliran Q2</i>	102
97.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S2 tanpa krib permeable dengan sedimen pada debit aliran Q2</i>	102
98.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 tanpa krib permeable dengan sedimen pada debit aliran Q2</i>	102
99.	<i>Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 tanpa krib permeable dengan sedimen pada debit aliran Q2</i>	103
100.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S1 dengan krib permeable pada Q2 dk1 kk1 Lk1</i>	103
101.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S2 dengan krib permeable pada Q2 dk1 kk1 Lk1</i>	103
102.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable pada Q2 dk1 kk1 Lk1</i>	104
103.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable pada Q2 dk1 kk1 Lk1</i>	104
104.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S1 dengan krib permeable pada Q2 dk1 kk1 Lk2</i>	105
105.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S2 dengan krib permeable pada Q2 dk1 ak1 Lk2</i>	105
106.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk1 kk1 Lk2</i>	105
107.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk1 ak1 Lk2</i>	105

108.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S1 dengan krib permeable pada Q2 dk1 ak2 Lk1</i>	106
109.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S2 dengan krib permeable pada Q2 dk1 kk2 Lk1</i>	106
110.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk1 kk2 Lk1</i>	106
111.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk1 kk2 Lk1</i>	106
112.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S1 dengan krib permeable pada Q2 dk1 kk2 Lk2</i>	107
113.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S2 dengan krib permeable pada Q2 dk1 kk2 Lk2</i>	107
114.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk1 kk2 Lk2</i>	108
115.	<i>Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk1 kk2 Lk2</i>	108
116.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S1 dengan krib permeable pada Q2 dk2 kk1 Lk1</i>	109
117.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S2 dengan krib permeable pada Q2 dk2 kk1 Lk1</i>	109
118.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk2 kk1 Lk1</i>	109
119.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk2 kk1 Lk1</i>	109
120.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S1 dengan krib permeable pada Q2 dk2kk1 Lk2</i>	110
121.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S2 dengan krib permeable pada Q2 dk2 kk1 Lk2</i>	110
122.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk2 kk1 Lk2</i>	110
123.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk2 kk1 Lk2</i>	111
124.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S1 dengan krib permeable pada Q2 dk2 kk2 Lk1</i>	111
125.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S2 dengan krib permeable pada Q2 dk2 kk2 Lk1</i>	112
126.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk2 kk2 Lk1</i>	112
127.	<i>Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk2 kk2 Lk1</i>	112
128.	<i>Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S1 dengan krib permeable pada Q2 dk2 kk2 Lk2</i>	113
129.	<i>. Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S2 dengan krib permeable pada Q2 dk2 kk2 Lk2</i>	113
130.	<i>Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk2 kk2 Lk2</i>	113
131.	<i>Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S3 dengan krib permeable, pada Q2 dk2 kk2 Lk2</i>	113
132.	<i>Hubungan bilangan Reynolds dengan koefisien gaya gesek (CD penelitian akibat krib permeable</i>	117
133.	<i>Hubungan bilangan Reynolds dengan koefisien gesek (CD empiris) akibat krib permeable, hasil validasi.</i>	117

134.	<i>Hubungan bilangan Reynolds dengan gaya hambat (FD) pada krib permeable</i>	118
135.	<i>Bilangan Reynolds (Re) dengan angkutan sedimen (qb)</i>	123
136.	<i>Bilangan Reynolds (Re) dengan volume angkutan sedimen (qb)</i>	123
137.	<i>Kecepatan aliran dengan angkutan sedimen (qb)</i>	124
138.	<i>Hubungan tegangan geser kritik $u_{2g} \cdot h_{ps} - p_w$ dengan angkutan sedimen (qb)</i>	125

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/singkatan	Arti dan Keterangan
k_k	Kerapatan krib (cm)
d_z	Diameter butiran sedimen (mm)
d_k	Diameter krib (mm)
L_k	jarak krib (cm)
C_v	Konsentrasi sedimen
C_d	Koefisien debit
d_{50}	Diameter butir tengah sedimen (50 mm)
d_b	Ketebalan endapan sedimen (cm)
g	Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
u	Kecepatan aliran, (m/dt)
Q	Debit aliran (m^3/dt)
q_b	Angkutan sedimen (ton/hr)
Re	Angka <i>Reynolds</i>
V_g	Volume gerusan sedimen (kg)
γ_w	Berat isi air (kg/m^3)
γ_s	Berat isi butiran sedimen (kg/m^3)
φ_o	Viskositas dinamik semula
φ	Viskositas dinamik suspensi
μ	Viskositas kinematik
ρ	Rapat massa air (kg/m^3)
ρ_s	Rapat massa sedimen (kg/m^3)
τ_b	Tegangan geser turbulen (kg/m^2)
h	Kedalaman aliran (m)
K	kekasaran dinding strikler,
R	Jari-jari hidrolis (m),
S_o	Kemiringan saluran, (m, %)
A	Luas penampang saluran (cm^2)

C_D	koefisien seret/koefisien hambat
V_D	Kecepatan pengendapan
S_E	Kemiringan energy (%)
μ	Kekentalan dinamis air
σ	Standar deviasi dari distribusi ukuran material dasar saluran
f_s	Gaya resapan (<i>seepage force</i>) pada dasar dan tebing saluran
C_T	Konsentrasi material dasar saluran
C_s	Konsentrasi material halus
Ω	Kecepatan jatu partikel
τ_c	Tegangan geser kritis, (kg/m ²)
τ_o	Tegangan geser dasar, (kg/m ²)
τ	Tegangan geser, (kg/m ²)
u^*	Kecepatan geser arah x dan y pada kondisi normal
u_{cr}	Kecepatan geser arah x dan y pada kondisi kritis
u^*_{cr}	Kecepatan geser kondisi normal pada titik tinjau
ϑ	Visikositas kekentalan kinematic
F_D	Gaya gesek
Υ	Koefisien empiris
σ	Standar deviasi dari distribusi ukuran material dasar saluran
S_p	Faktor bentuk partikel
S_e	faktor bentuk saluran melintang
zf_s	Gaya resapan (<i>seepage force</i>)
C_{dT}	Konsentrasi material dasar saluran
C_s	Konsentrasi material halus
$\acute{o}$	Kecepatan jatuh partikel
f	Factor gesek Darcy-Weisbach.
u^*	Kecepatan geser (m/dt)
C	Koefisien Chezy
T	Waktu (detik)
ψ	Menghitung Intensitas pengaliran
ϕ	Menghitung Intensitas angkutan sedimen

γ_B	Koefisien yang tergantung pada kekasaran dinding.
C_{Df}	Koefisien drag gesekan
F_L	Gaya angkat (<i>Lif force</i>)
F_D	<i>Drag force</i> (gaya gesek)
F_G	<i>Weight</i>
d_s	Kedalaman gerusan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai memberikan manfaat yang sangat besar terhadap kehidupan manusia sebagai penyediaan sumber daya air, seperti untuk penyediaan air irigasi, air minum, energi PLTA, transportasi air, rekreasi, perikanan air tawar, industri, dll.

Pemanfaatan potensi sungai sering menjadi masalah karena pemanfaatan yang berlebihan dengan tanpa menggunakan sistem konservasi dan berkelanjutan (*sustainable*) sehingga berdampak negative terhadap ekosistem sungai.

Pembukaan dan perluasan lahan di daerah DAS sebagai area pertanian mempunyai peranan utama meningkatkan limpasan permukaan dan sedimen yang mengalir ke sungai. Pengaruh vegetasi terhadap limpasan permukaan dapat menghambat jalannya air limpasan permukaan dan memperbesar jumlah air yang tertahan di atas permukaan tanah (*surface detention*). Konsekuensi perubahan tataguna lahan menyebabkan tingginya limpasan permukaan, sehingga berimplikasi langsung terhadap potensi tingginya banjir yang terjadi di sungai semakin besar. Banjir yang relatif tinggi menyebabkan potensi gerusan dan kerusakan di sungai akibat kecepatan aliran yang sangat tinggi. Penyesuaian terutama perluasan lahan meningkatnya di sebagian besar DAS dimana erosi dan aliran permukaan (Lenhart et al., 2018).

Penelitian tentang aliran dan turbulensi aliran antara lain; fenomena aliran turbulen (Rodi, 2017), (Safarzadeh et al., 2016), menggunakan Particle Image Velocity (PIV) dan The Large-Eddy simulation (LES) untuk menggambarkan fenomena karakter kecepatan aliran turbulen (Constantinescu et al., 2013), Analisis kuadran telah banyak digunakan untuk mengamati pentingnya kejadian aliran turbulen, khususnya di sekitar kekasaran besar elemen (Baki et al., 2015), (Fang et al., 2017), (Tan & Curran, 2012), kejadian turbulen mempengaruhi pengangkutan sedimen dasar dan layang (Bretón et al., 2013). Penempatan krib pada tikungan saluran menyebabkan fenomena baru aliran turbulen, sehingga memicu tegangan geser menyebabkan gerusan lokal (A. A. Rahim et al., 2017), (Mansida et al., 2020). Bongkahan batu yang lebih padat menyebabkan kontribusi yang

lebih seragam kejadian aliran turbulen (*Reynolds*) (Golpira, Huang, et al., 2020). Model bangunan berkontribusi signifikan meningkatkan total aliran energi kinetik turbulen (Cea et al., 2007). Ejeksi sedimen aliran mengubah pola struktur turbulen dan distribusi interaksi turbulensi aliran (Bustamante-Penagos & Niño, 2020). Namun masih perlu variasi pola kontribusi kejadian turbulen pada tegangan geser untuk beberapa material dasar saluran atau sungai.

Penelitian tentang krib telah lama dilakukan sampai sekarang, antara lain tentang bentuk dan panjang yang berbeda, terendam atau tidak terendam, mengubah aliran arus dengan tujuan melindungi tebing sungai (B. A. Zaid & Tait, 2017). Pengaturan aliran dan pencegahan gerusan dengan menggunakan krib dengan dua bentuk yaitu krib lurus dan krib bentuk T (Safarzadeh et al., 2016). Beberapa penelitian lain dilakukan pada krib dan pengaruhnya (Vaghefi et al., 2019). Efek dari bentuk krib pada pola aliran (B. Zaid et al., 2018). Pola erosi dan sedimentasi, kedalaman kedalaman gerusan, dan variasi tegangan dasar sungai di sekitar krib dalam berbagai kondisi (Al-Khateeb et al., 2016), (Möws & Koll, 2019). Perubahan morfologi dan struktur aliran disekitar krib vegetasi (Aziz & Kadota, 2018). (Yi et al., 2013) dan (Kurdistani & Pagliara, 2017).

Penelitian tentang tegangan geser dan distribusi kecepatan aliran seperti pada belokan 65° di hulu saluran menyebabkan distribusi kecepatan tidak merata pada aliran sehingga memberikan pengaruh kepada distribusi kecepatan dan tegangan geser (Ikhsan et al., 2016) (A. A. Rahim et al., 2017) di tikungan saluran (RibkhiFalah, 2017), Karakteristik aliran berkontribusi cukup tinggi terhadap pengikisan dan pengendapan sedimen (Jamieson et al., 2013b). Pengamatan aliran turbulen di sekitar struktur dan distribusi kecepatan gesekan dasar pada tumpukan kerang (Constantinescu et al., 2013), Bongkahan batu yang lebih padat menyebabkan kontribusi yang lebih seragam kejadian aliran turbulen (*Reynolds*) dan tegangan geser (Golpira, Huang, et al., 2020), Tegangan geser terdistribusikan secara linear di sepanjang sumbu vertikal, dan profil vertikal intensitas turbulensi sesuai dengan hukum eksponensial (Li, Zeng, & Bai, 2020), (Koutrouveli et al., 2019).

Pengaruh krib vegetasi pada aliran turbulen di sekitar struktur krib lapangan, (Ali & Uijtewaal, 2013). Tekanan aliran pada hambatan (Widyastuti et al., 2021) vegetasi

terhadap tinggi muka air (Koutrouveli et al., 2019). Jarak krib sebagai pengontrol tekanan geser pada saluran terbuka (Möws & Koll, 2019). Pengaruh kekasaran bidang krib terendam dengan variasi panjang, jarak, dan jenis krib, (Mostafa et al., 2019). Perubahan hidrolika aliran mempengaruhi sedimentasi di sekitar krib dan kondisi geometric saluran. (Choufu et al., 2019) dan (I. Rahim et al., 2017).

Bangunan krib menyebabkan terjadi turbulensi aliran (*vortex*) (Kumar & Ojha, 2019) telah lama dipelajari oleh para ilmuwan dan Insinyur seperti Leonardo da Vinci, Tennekes dan Lumley (1972). Dinamika gaya turbulen aliran yang dapat menyebabkan gerusan pada tebing ataupun dasar sungai (Rodi, 2017). Aliran turbulen menggambarkan fenomena karakter tingginya aliran turbulen (Constantinescu et al., 2013). Turbulensi aliran menyebabkan fenomena resistensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020). Karakteristik aliran berkontribusi cukup tinggi terhadap pengikisan dan pengendapan sedimen (Jamieson et al., 2013a), (Latif et al., 2020). Pengujian prediksi perubahan morfologi pada cabang sungai dengan menggunakan model 2D numerical (Karmaker & Dutta, 2016). Distribusi kecepatan aliran dan memicu aliran turbulen dengan adanya bangunan (Constantinescu et al., 2013). Mengendalikan muatan endapan di dasar kearah hilir aliran sungai (Rodi, 2017), (Safarzadeh et al., 2016). Mencegah gerusan tebing dan dapat mengendapkan sedimen di krib. (Shields Jr et al., 2017).

Penempatan krib pada saluran terbuka sebagai salah satu pengaturan kecepatan aliran dan pencegahan gerusan tebing maupun dasar belum menjadi solusi yang baik. Penempatan dengan mempertimbangkan karakter aliran menyebabkan persoalan baru yaitu, perubahan dinamika karakteristik aliran berdampak terhadap perubahan dasar saluran (Mostafa et al., 2019), (Mona et al., 2018) dengan fenomena resistensi turbulen aliran di sekitar bangunan krib (Ali & Uijtewaal, 2013), mengeser area gerusan akibat kesalahan penempatan krib, beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan krib sebagai pengaturan kecepatan aliran relative baik sebagaimana dijelaskan (Sukhodolov et al., 2017) bahwa; (1) Penggunaan krib vegetasi sangat signifikan mengurangi besarnya kecepatan aliran, (2) menyebabkan dinamika tegangan geser pada dasar saluran tanah, (3) dinamika aliran krib bervegetasi dapat dimodelkan dengan cukup baik. Hambatan aliran secara tiba-tiba menyebabkan terjadinya tekanan aliran dengan struktur bangunan, sehingga terjadi perubahan aliran yang berdampak terhadap pada dasar

saluran. Peningkatan kepadatan hambatan menyebabkan penomena *backwater* dan yang signifikan, sehingga bertambahnya kedalaman aliran (Zhu et al., 2014). Penempatan krib di saluran menyebabkan kecepatan aliran menurun namun tidak signifikan menurunkan tegangan *Reynolds* dan geser (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Matinfard et al., 2013).

Pengaruh bangunan krib permeabel terhadap perubahan morfologi dasar sungai diperlukan suatu kajian khusus. Oleh karena itu menjadi fokus kami dalam penelitian ini untuk dilakukan kajian lebih lanjut untuk mempelajari penomena aliran karakteristik aliran, resistensi dan perubahan morfologi dasar saluran sebagai upaya mendapatkan formula teori pengaturan kecepatan aliran dan mengurangi resistensi aliran maupun pencegahan gerusan dasar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang menjadi objek utama dalam penelitian ini, agar lebih terarah dan fokus. Adapun rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana pengaruh krib permeabel terhadap perubahan karakteristik aliran pada saluran terbuka?
- 2) Bagaimana pengaruh krib permeabel terhadap perubahan morfologi dasar saluran terbuka?
- 3) Bagaimana persamaan empiris akibat krib permeabel terhadap perubahan morfologi dasar saluran?

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk mengukur pembahasan dalam tulisan ini, maka tujuan utama penelitian ini dengan mengacu pada rumusan masalah adalah sebagai berikut :

- 1) Menemukan pengaruh krib permeabel terhadap perubahan karakteristik aliran pada saluran terbuka.
- 2) Menemukan pengaruh krib permeable terhadap perubahan morfologi dasar saluran terbuka.
- 3) Merumuskan persamaan empiris akibat krib permeabel terhadap perubahan morfologi dasar saluran.

1.4 Manfaat penelitian

Dengan selesainya penelitian ini diharapkan dapat diperoleh manfaat sebagai berikut :

- 1) Diperoleh alternatif referensi solusi untuk mencegah dan menangani gerusan pada dasar saluran,
- 2) Diharapkan menjadi wahana terhadap ilmu pengetahuan khusus hidrolika sungai akan perubahan morfologi dasar saluran tanah dengan adanya bangunan krib.
- 3) Menambah referensi khasana ilmu pengetahuan terhadap dampak perubahan dasar saluran tanah akibat krib pada pengelolaan sumber daya air.
- 4) Memberi kontribusi dalam wawasan penelitian dalam bidang rekayasa pengelolaan sumber daya air.

1.5 Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini dibatasi pada kondisi permasalahan antara lain :

- 1) Penelitian tidak membahas ketahanan dan kedalaman krib pada dasar saluran tanah,
- 2) Menggunakan saluran lurus dan persegi panjang
- 3) Menggunakan campuran tanah pasir sebagai sedimen di dasar saluran,
- 4) Tidak menggunakan variasi jenis campuran tanah-pasir.
- 5) Bangunan krib digunakan tipe krib permeabel (lolos air)
- 6) Krib tipe permeabel yang digunakan adalah kayu bulat dipotong dengan tinggi dan diameter sesuai variasi model,
- 7) Tidak melakukan variasi sudut belokan, variasi ketinggian krib dan variasi bentuk saluran, namun lebih fokus kepada variasi debit, kemiringan dasar saluran, kerapatan, diameter, jarak krib.
- 8) Tidak membahas kualitas pengaliran
- 9) Krib permeable ditempatkan pada sisi kanan kiri saluran dengan ziq-zaq pada area sedimen sepanjang 200 cm.
- 10) Pengambilan data di fokuskan pada area titik sedimen sepanjang 200 cm, dengan tidak memperhitungkan kejadian perubahan sebelum dan sesudah area titik sedimen pada saluran.

1.6 Sistematika Penelitian

Penelitian ini didahului dengan penelusuran daftar pustaka dan telaah penelitian terdahulu, kemudian disusun kerangka pikir penelitian, teori pendukung dan metode penelitian. Penelitian ini akan disusun dalam 5 Bab, yang terdiri dari:

BAB I PENDAHULUAN; memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, sistematika penelitian dan kebaruan atau *novelty* penelitian;

BAB II TINJAUAN PUSATAKA, berisikan tentang, hidrolika aliran sungai, morfologi sungai, gerusan sungai, bangunan krib, analisis dimensi, hipotesis, penelitian terdahulu, kerangka pikir penelitian.

Bab III METODE PENELITIAN berisikan tentang, tempat dan waktu penelitian, jenis penelitian dan sumber data, perencanaan penelitian, variabel-variabel penelitian, analisis penelitian dan began alir penelitian.

Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN berisikan tentang validasi kecepatan aliran sebelum ada krib permeable, validasi data gerusan sedimen dan analisis data penelitian, pengaruh krib permeable terhadap perubahan karakteristik aliran saluran terbuka, pengaruh krib permeabel terhadap perubahan morfologi dasar saluran terbuka dan persamaan empiris akibat krib permeabel terhadap perubahan morfologi dasar saluran.

Bab V PENUTUP, berisikan uraian kesimpulan hasil penelitian dan saran yang diperlukan.

1.7 Kebaruan/*novelty* Penelitian

Temukan kebaruan yang diharapkan dari penelitian ini dengan perubahan morfologi dasar saluran akibat bangunan krib permeable. Temuannya adalah menemukan pengaruh krib permeabel terhadap perubahan karakteristik aliran dan pengaruh krib permeable terhadap perubahan morfologi dasar saluran terbuka; serta rumusan empiris koefisien gesek (C_D) dan angkutan sedimen (q_b) akibat bangunan krib permeable. Perubahan morfologi dasar saluran digambarkan sebagai proses terjadinya angkutan sedimen (q_b). Proses degradasi dan aggradasi tidak terlepas dari terjadinya angkutan sedimen (q_b). Parameter angkutan sedimen (q_b) sebagai dampak proses dinamika hidrolika aliran pada dasar saluran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrolika Aliran Sungai

2.1.1 Perlawanan Terhadap Aliran

Aliran pada saluran terbuka mengalami perlawanan yang sangat kompleks karena dipengaruhi oleh banyak variabel, dimana tergantung antara satu dengan lainnya dan interaksinya tidak dapat diketahui dengan baik. Kesulitan lainnya, terutama pada kondisi lokasinya adalah bagaimana menentukan variabel-variabel yang mempengaruhi aliran dan sebaliknya variabel-variabel yang mana dihasilkan oleh aliran. Namun demikian indikator utama variabel-variabel untuk menjelaskan pada sungai alluvial dapat ditulis dalam persamaan umum (Richardson dkk., 1990; Sinoms dan Senturk, 1992 dalam buku Robert J. Kodoate, (2013) sebagai berikut :

$$\Phi(u, h, S_E, \rho, \mu, g, d_z, \sigma, \rho_s, S_p, S_R, S_o, f_s, C_T, C_s, \phi, \tau_c) = 0 \quad (1)$$

Dimana; u : kecepatan aliran (m/dt), h ; kedalaman aliran (m), S_o ; kemiringan dasar saluran (%), ρ ; kerapatan air (kg/m^3), μ ; kekentalan dinamis air, g ; percepatan gravitasi bumi (m/dt^2), d_z ; diameter material dasar saluran (mm), σ ; standar deviasi dari distribusi ukuran material dasar saluran, ρ_s ; kerapatan butiran (sedimen) saluran (kg/m^3), S_p ; faktor bentuk partikel, S_e ; faktor bentuk saluran melintang, f_s ; gaya resapan (*seepage force*) pada dasar dan tebing saluran, C_dT ; konsentrasi material dasar saluran, C_s ; konsentrasi material halus, ω : Kecepatan jatuh partikel, τ_c : tegangan geser kritis.

Pengaruh variabel yang lain masih spekulatif, sehingga masih terus dilakukan pengamatan, dimana bentuk persamaan perlawanan yang disederhanakan sebagai berikut :

$$S = F_r^2 \cdot f \cdot \left(R_e, \frac{d_z}{h} \right) \quad (2)$$

Dimana: F_r = bilangan Froude, R_e ; angka bilangan *Reynolds*, d_z ; diameter material dasar saluran (mm), h ; kedalaman aliran (m), f ; factor gesek Darcy-Weisbach.

Factor gesek Darcy Weisbach digunakan persamaan berikut :

$$f = \frac{8S_f}{F_r} \quad (3)$$

Sedangkan evaluasi perlawanan (*resistance*) dapat digunakan persamaan berikut:

$$S_f = \frac{V_*^2}{C_*^2 \cdot g \cdot R} \quad (4)$$

Dan kecepatan geser digunakan persamaan berikut :

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} \quad (5)$$

Dimana: τ_o = Tegangan geser (kg/cm^2), u^* = kecepatan geser (m/dt), ρ =kerapatan air (kg/m^3), R = jari-jari hidrolis (m), $R = h$ untuk penampang segi empat, C koefisien Chezy tak berdimensi, g adalah percepatan gravitasi

2.1.2 Klasifikasi Aliran berdasarkan Angka *Reynolds*

Umumnya aliran terjadi pada saluran terbuka atau di sungai adalah aliran turbulen, sehingga fenomena aliran ini menyebabkan perubahan hidrolika sungai, material dasar dan tebing sungai serta angkutan sedimen. Dalam teori angka *Reynolds* (Re) mengklasifikasi jenis aliran berdasarkan kekentalan zat cair (μ), rapat massa zat cair (ρ), panjang karakteristik atau jari-jari hidrolis (L/R). (Victor L. Sreeter, dkk,1998), Bambang Triatmadjo, (2008) dan Suwarno, (1991). Variabel yang dipakai untuk klasifikasi ini adalah angka *Reynolds* yang didefinisikan sebagai :

$$Re = \rho \cdot u \cdot L / \mu. \quad (6)$$

Dimana: Re ; Angka Reynolds, u ; kecepatan aliran (m/det), L ; panjang karakteristik (m), pada saluran muka air bebas $L = R$, R ; Jari – jari hidrolis saluran (m), μ = Viskositas kinematik (m^2/det) ($1,14 - 0,013 (T^\circ - 15) + 0,00068 (T^\circ - 15)^2$) 10^{-6}) (m^2/dt).

Beberapa penelitian disimpulkan bahwa bilangan Reynolds untuk saluran terbuka adalah:

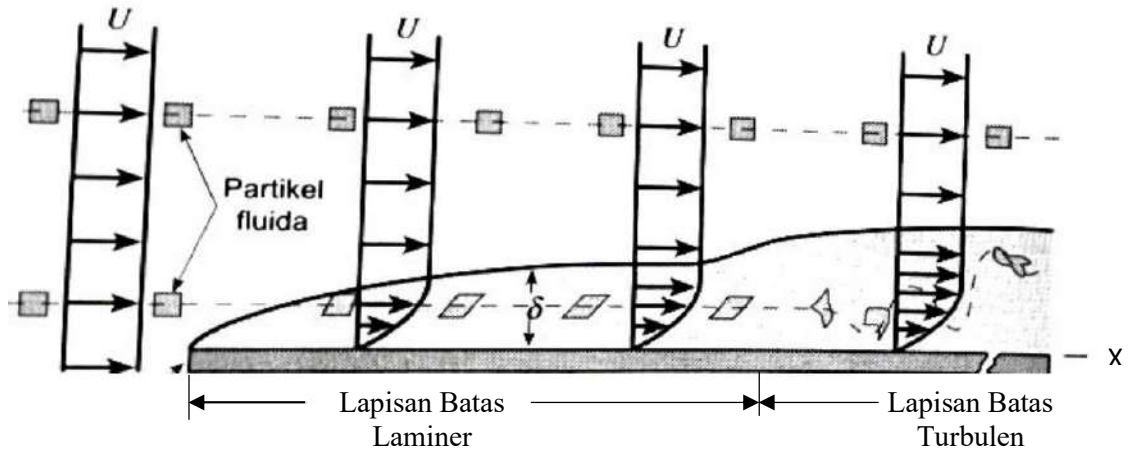
$$\begin{aligned} R < 500 &= \text{Aliran laminar} \\ 500 < R < 12,500 &= \text{Aliran transisi} \\ R > 12,500 &= \text{Aliran turbulen} \end{aligned}$$

2.1.3 Persamaan Empiris Kecepatan Aliran

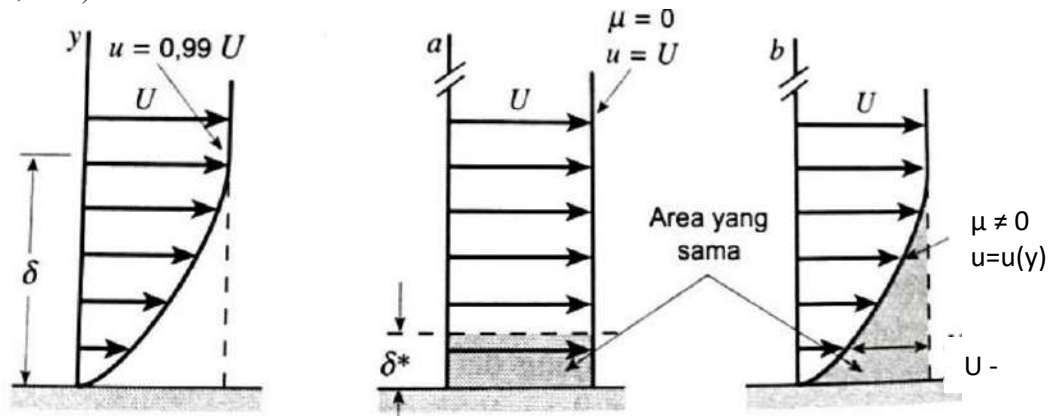
Ketergantungan tegangan geser yang sama terjadi pada aliran saluran terbuka dengan bilangan *Reynolds* yang besar, maka persamaan empiris : (Robert J. Kodoatie, (2013)

$$u^* = C \sqrt{R \cdot S_o} \quad (7)$$

Dimana C = koefisien Chezy , R = jari-jari hidrolis (m), S_o = kemiringan saluran.



Gambar 1. Distorsi dari partikel Fluida ketika mengalir di dalam lapisan batas (Bruce R Monson, , dkk, 2005)



Gambar 2. Ketebalan lapisan batas (a) ketebalan lapisan batas standar, (b) ketebalan perpindahan lapisan batas (Bruce R Monson, dkk., 2005)

Hubungan rumus Chezy dengan rumus Manning dapat ditulis sebagai berikut:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (8)$$

Dimana : R = jari-jari hidrolis (cm), n = koefisien manning

Untuk hidraulika dengan retensi aliran biasa digunakan koefisien Chezy (C), koefisien Manning (1/n) dan koefisien Strickler (k_{st}), persamaan digunakan adalah; (Agus Maryono, 2007)

$$u = C \sqrt{R \cdot S} \quad (9)$$

$$u = \frac{1}{2} R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (10)$$

$$c = \frac{87}{1 + \frac{M}{R}} \quad (11)$$

Dimana; R = jari-jari penampang basah (m), u kecepatan aliran (m/dt), S = kemiringan dasar sungai, M adalah koefisien kekasaran permukaan (**Tabel 1**). Sedangkan aliran pada saluran terbuka dapat dihitung dengan persamaan Manning, Chezy dan Strickler ditulis sebagai berikut : (I Made Kaimana, 2018)

$$u = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (12)$$

$$u = k R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (13)$$

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S_o^{1/2} \quad (14)$$

Dimana : k = kekasaran dinding strickler, R = jari-jari hidrolis (m), S_o = kemiringan saluran, A= luas penampang saluran, Q = Debit Aliran (m³/dt), u = kecepatan aliran (m/dt), n = kekasaran Manning (**Tabel 2**) dan Tabel 3 untuk koefisien kekasaran Strickler (ks).

Tabel 1. Nilai M yang disarankan oleh Bazin

No	Deskripsi Saluran	Nilai M
1	Papan diserut, disemen halus	0.11
2	Papan tak diserut, beton atau bata	0.21
3	Batu temple, pasangan batu belah, plesteran bata kasar	0.85
4	Saluran tanah yang licin	1.54
5	Saluran Tanah yang sedang	2.36
6	Saluran tanah yang kasar	3.17

Sumber : I Made Kaimana, 2018

Tabel 2. Nilai koefisien kekasaran Manning (n)

No	Jenis bahan	Nilai n
1	Besi tuan dilapis	0.014
2	Kaca	0.010
3	Saluran beton	0.013
4	Bata dilapis mortal	0.015
5	Pasangan batu disemen	0.025
6	Saluran tanah bersih	0.022
7	Saluran tanah	0.030
8	Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0.040
9	Saluran pada galian batu padas	0.040

Sumber : I Made Kaimana, 2018

Tabel 3. Nilai koefisien kekasaran Strickler (k_s)

No	Jenis bahan	Nilai k_s
1	Tanah	45
2	Pasangan batu	60
3	Benton, bentuk kayu	70
4	Baja beton	76
5	Besi baja	80

2.1.4 Karakteristik Aliran Melewati Sebuah Benda

Aliran yang melewati suatu benda menyebabkan berbagai macam variasi fenomena mekanika fluida yang sangat beragam. Dimana karakter medan aliran adalah sebuah fungsi dari bentuk benda. Walaupun demikian benda yang bentuk sederhana pun tetap menghasilkan aliran yang agak kompleks. (Bruce R Monson, dkk., (2005). Karakteristik aliran dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti ukuran, orientasi, kecepatan dan sifat aliran. Karakter aliran ini juga dipengaruhi pada berbagai parameter tak berdimensi sesuai analisis argumentasi dimensional. Parameter-parameter adalah bilangan *Reynolds*,

$$Re = \rho \cdot u \cdot L / \mu. \quad (15)$$

dimana : Re = Angka Reynolds, u = Kecepatan aliran (m/det), L = Panjang karakteristik (m), pada saluran muka air bebas $L=R$., R = Jari – jari hidrolis saluran (m), ρ = berat jenis aliran (kg/m^3), μ = Viskositas kinematik (m^2/det) $(1,14 - 0,013 (T^\circ - 15) + 0,00068 (T^\circ - 15)^2) 10^{-6}$ (m^2/dt).

Umumnya pada aliran yang berkaitan dengan benda berukuran sedang dan panjang karakteristik dalam orde $0,01 \text{ m} < l < 10 \text{ m}$. Kecepatan tambahan hulu biasanya dalam kisaran $0,01 \text{ m/dt} < U < 100 \text{ m/dt}$ pada aliran. Nilai kisaran bilangan Reynolds dihasilkan untuk aliran-aliran sekitar $10 < Re < 10^9$. Sebagai kaidah umum (*rule of thumb*), karakteritik aliran menurut bilangan *Reynolds* dipengaruhi oleh antara gaya kekentalan (viskositas) dan gaya inersia (kelembaman). Sehingga jika gaya viskositas dominan maka terjadi aliran laminar dan jika gaya inersia yang dominan maka terjadi aliran turbulen. (Bruce R. Munson, dkk. (2005). Gaya inersia merupakan gaya membuat benda cenderung menolak perubahan keadaan gerak.

2.2 Morfologi Sungai

Morfologi sungai adalah ilmu yang mempelajari tentang geometri, jenis dan perilaku sungai dengan segala aspek pembahasannya dalam dimensi ruang dan waktu. Oleh karenanya segala aspek dinamika sungai dan lingkungannya aliran berkaitan. Sifat-sifat sungai dipengaruhi oleh bentuk Daerah Pengaliran Sungai (DPS), luas dan kemiringan sungai. Indonesia terdiri dari pulau-pulau antara lain; pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Papua yang terdiri dari kurang lebih 70% berupa pengunungan yang berkitab DAS tidak terlalu luas, kemiringan alur yang cukup tajam.

Morfologi sungai dipengaruhi oleh berbagai faktor di antaranya, kondisi aliran, kemiringan dasar, proses angkutan sedimen, kondisi lingkungan, serta aktivitas manusia di sekitarnya. Proses geomorfologi utama yang terjadi di sungai adalah erosi, longsor tebing, dan sedimentasi. Air yang mengalir di sungai sebagai fungsi dari gaya gravitasi merupakan sarana transport material yang longsor dan atau tererosi, kemudian tersedimentasi pada daerah yang lebih rendah. Erosi adalah kombinasi proses pengikisan, pengangkutan, dan pemindahan materi lapukan batuan, kemudian dibawa ke tempat lain oleh tenaga pengangkut. Sedimentasi adalah proses pengendapan material yang berasal dari tempat lain. Sedangkan keterkaitan morfologi sungai dengan konsentrasi bidang ilmu yang lain diantaranya; geometri (bentuk) sungai, hidrologi, hidrolika, angkutan sedimen, geoteknik, lingkungan dan sebagainya.

Unsur penting morfologi sungai yang dipahami dalam penunjang pekerjaan desain bangunan teknik pengairan adalah fenomena, karakter sungai, parameter fenomena sungai dan dimensinya. Geometrik sungai adalah bentuk sungai dapat berubah dalam dimensi ruang baik horisontal dan vertikal. Morfologi sungai yang senantiasa berubah-ubah seiring dengan dinamis kondisi sungai tersebut, sehingga diharuskan untuk senantiasa mempelajari dan dipantau terus menerus. Data-data hasil pemantauan dijadikan bahan untuk keperluan desain, pembangunan konvensional dan eko-hidrolik atau pembangunan berwawasan lingkungan, eksploitasi, konservasi, restorasi dan sistem pemeliharanya.

2.2.1 Gerusan Sungai

Gerusan tebing sungai adalah merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air yang biasanya terjadi pada tebing dan dasar sungai. Gerusan merupakan bagian

dari keseimbangan dinamisasi sungai dapat menyebabkan perubahan morfologi dasar sungai dan perubahan akibat bangunan buatan manusia.

Jenis gerusan menurut Etterna dan Raudkivi dalam Istiarto (2002), gerusan dapat dibagi menjadi:

- 1) Gerusan umum (*general scour*), gerusan yang terjadi akibat dari proses alam dan tidak berkaitan sama sekali dengan ada tidaknya bangunan sungai.
- 2) Gerusan di lokalisir (*constriction scour*), gerusan yang diakibatkan penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi terpusat.
- 3) Gerusan lokal (*local scour*) merupakan akibat langsung dari struktur pada alur sungai.

Gerusan lokal (*local scouring*) merupakan gerusan yang terjadi disekitar abutmen jembatan atau pilar, disebabkan oleh pusaran air (*vortex system*) karena adanya gangguan pada pola aliran akibat hambatan. Aliran yang mendekati pilar dan tekanan stagnasi akan menurun dan menyebabkan aliran kebawah (*down flow*) yaitu aliran dari kecepatan tinggi menjadi rendah. Kekuatan *down flow* akan mencapai maksimum ketika berada tepat pada dasar saluran. Menurut Laurser (1952) menjelaskan bahwa fenomena gerusan mempunyai sifat alami yaitu :

- 1) Besar gerusan akan sama selisihnya antara jumlah material yang ditranspor keluar daerah gerusan dengan jumlah material yang ditranspor masuk ke dalam daerah gerusan.
- 2) Besar gerusan akan berkurang apabila penampang basah di daerah gerusan bertambah (karena erosi).
- 3) Untuk kondisi aliran akan terjadi suatu keadaan gerusan yang disebut gerusan batas, besarnya akan asimtotik terhadap waktu.

Pengerusan lokal (Garde & Raju, 2000) terjadi akibat adanya turbulensi air yang disebabkan 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 sedemikain rupa sehingga daya tahan material terlampaui. Secara teoristik tegangan geser yang terjadi lebih besar dari tegangan geser kritis dari butiran dasar.

Faktor variabel-variabel yang berpengaruh pada gerusan lokal, seperti; gaya gravitasi (g), kerapatan fluida (ρ_w), kecepatan aliran (u), kekentalan air (μ), Kedalaman aliran (h), material dasar sungai (diameter butiran sedimen, d_z), kerapatan massa (ρ_s), Distribusi butiran, jenis butiran, faktor genetis pilar (tebal pilar, diameter (d_k), panjang krib (L), bentuk krib, sudut arah krib (α), kerapatan krib (jarak antar krib dalam satu kelompok) (k_k). Variabel yang berpengaruh cukup banyak, sehingga variabel dominan yang menjadi bahan uji dengan kedalaman gerusan (d_s) merupakan fungsi:

$$d_s = f(\rho_s, \mu, u, d_z, h, L, d_k, \rho_w, \alpha) \quad (16)$$

2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Gerusan

Gerusan terjadi disekitar bangunan air, jembatan dan penyempitan aliran dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain sebagai berikut:

a) Kecepatan aliran

Kedalaman gerusan lokal maksimum rata-rata di sekitar pilar sangat tergantung pada nilai relatif kecepatan alur sungai (perbandingan antara kecepatan rerata aliran dan kecepatan geser), nilai diameter butiran dasar (butiran seragam/ tidak seragam) dan diameter pilar. Sehingga gerusan lokal maksimum rerata tersebut merupakan gerusan lokal maksimum dalam kondisi setimbang.

Gerusan lokal terus terjadi dan semakin luas ke arah hilir seiring dengan bertambahnya waktu dan debit, sehingga bangunan akan mengalami kegagalan konstruksi seperti yang sering kita jumpai pada kasus rusaknya bangunan sungai setelah banjir besar. Kedalaman gerusan lokal maksimum rerata di sekitar pilar sangat tergantung nilai relatif kecepatan alur sungai (perbandingan antara kecepatan rerata aliran dan kecepatan geser), nilai diameter butiran (butiran seragam/ tidak seragam) dan lebar pilar. Gerusan lokal maksimum rerata tersebut merupakan gerusan lokal maksimum dalam kondisi setimbang. Pengaruh kecepatan relatif pada gerusan dapat ditunjukkan pada (u/u_c) pada kedalaman gerusan tak berdimensi (d_s/d_k).

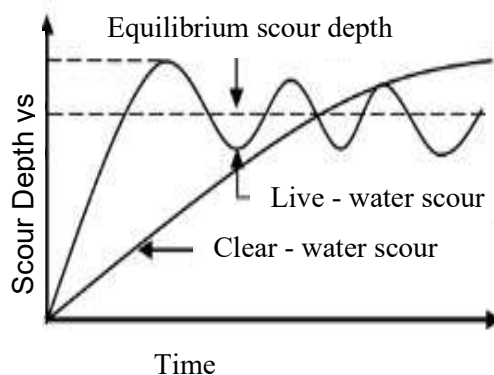
Menurut Chabert dan Engeldinger dalam (Breusers & Raudkivi, 1991), melakukan penelitian secara intensif pengaruh berbagai variabel terhadap gerusan lokal disekitar pilar. Variabel utama adalah kecepatan aliran, dimensi pilar, kedalaman air (0,1 – 3,5 m), ukuran butir dan bentuk pilar. Berdasarkan studi kecepatan aliran menunjukkan bahwa ada dua resim yang berpengaruh yaitu untuk kecepatan aliran pada atau dibawah kecepatan kritis

($u < u_c$), kedalaman gerusan hanya pada batas asimtosis, seperti terlihat pada gambar sedangkan untuk kecepatan yang lebih besar ($u > u_c$), kedalaman gerusan berfluktuasi akibat pengendapan material secara periodik pada lubang gerusan oleh gerakan bukit pasir, seperti terlihat pada gambar kedalaman gerusan maksimal diperoleh pada kecepatan aliran yang mendekati kecepatan aliran kritis dan gerusan dimulai pada kira-kira setengah kecepatan aliran kritis.

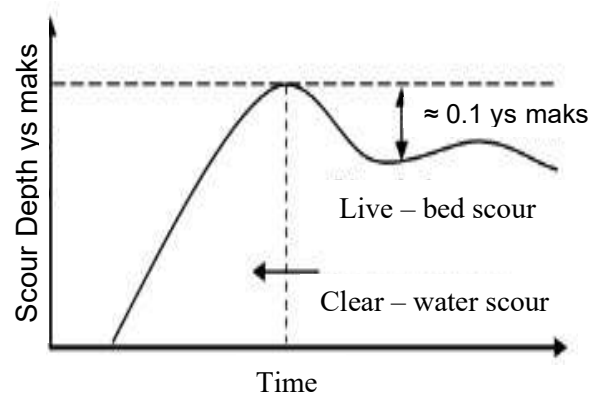
Chabert dan Engeldinger (1956) dalam (Breusers & Raudkivi, 1991) menyatakan lubang gerusan yang terjadi pada alur sungai umumnya merupakan korelasi antara kedalaman gerusan dengan kecepatan aliran sehingga lubang gerusan tersebut merupakan fungsi waktu (**Gambar 3**), sedangkan Breusers dan Raudkivi (1991) menyatakan bahwa kedalaman gerusan maksimum merupakan fungsi kecepatan geser (**Gambar 4**).

b) Gradasi sedimen

Gradasi sedimen merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kedalaman dan luas gerusan pada kondisi air bersih (*clear water scour*). **Gambar 3** dan **Gambar 4** di atas digambarkan kedalaman gerusan (d_s/d_k) tak berdimensi sebagai fungsi dari karakteristik gradasi sedimen material dasar (σ/d_{50}). Dimana σ adalah standar deviasi untuk ukuran butiran dan d_{50} adalah ukuran partikel butiran rerata Nilai kritikal dari σ/d_{50} untuk melindunginya hanya dapat dicapai dengan bidang dasar, tetapi tidak dengan lubang gerusan dimana kekuatan lokal pada butirannya tinggi yang disebabkan meningkatnya aliran turbulen (pusaran air).



Gambar 3. Hubungan kedalaman gerusan (d_s) dengan waktu. (Breusers & Raudkivi, 1991)



Gambar 4. Hubungan kedalaman gerusan (d_s) dengan kecepatan. (Breusers & Raudkivi, 1991)

2.2.3 Mekanisme Gerusan

Gerusan terjadi dimulai saat partikel yang terbawa bergerak mengikuti pola aliran bagian hulu kebagian hilir saluran. Seiring dengan kecepatan aliran yang lebih tinggi membawahkan partikel tinggi, baik ukuran halus sampai yang kasar. Kecepatan gerusan relatif tetap meskipun terjadi peningkatan kecepatan yang berhubungan dengan transpor sedimen baik yang masuk maupun yang terjadi gerusan.

Gerusan lokal umumnya terjadi pada alur sungai yang terhalang struktur bangunan air akibatnya menyebabkan adanya pusaran. Pusaran tersebut terjadi pada bagian hulu bangunan. Isnugroho (1992) dalam (Aisyah, 2004) menyatakan bahwa adanya pilar akan mengganggu kestabilan butiran dasar. Bila perubahan air hulu tertahan akan terjadi gangguan pada elevasi muka air di sekitar pilar. Selanjutnya aliran akan berubah secara cepat. Karena adanya percepatan aliran maka elevasi muka air akan turun. Menurut Melville dalam Miller (2003) menjelaskan tahap-tahap gerusan yang terjadi antara lain sebagai berikut (Breusers & Raudkivi, 1991):

- 1) Peningkatan aliran yang terjadi pada saat perubahan garis aliran di sekeliling pilar
- 2) Pemisahan aliran dan peningkatan pusaran tapal kuda yang lebih intensif sehingga menyebabkan pembesaran lubang gerusan.
- 3) Longsor/turunnya material disekitar lubang gerusan pada saat lubang cukup besar setelah terkena pusaran tapal kuda.

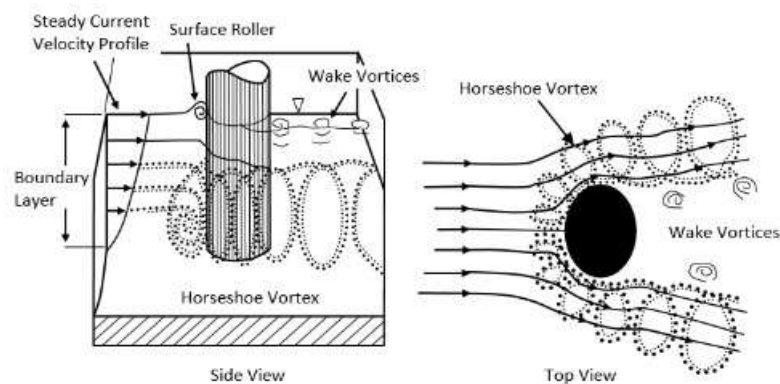
Menurut Nakagawa dan Suzuki dalam Miller (2003) membedakan gerusan dalam empat tahap (Breusers & Raudkivi, 1991):

- 1) Gerusan di sisi (kanan dan kiri) pilar yang disebabkan kekuatan tarikan dari arus utama (*main flow*).
- 2) Gerusan di depan pilar yang diakibatkan pusaran tapal kuda (*horseshoe vortex*).
- 3) Pembesaran gerusan oleh pusaran stabil yang mengalir melewati pilar.
- 4) Periode reduksi gerusan selama penurunan kapasitas transpor di lubang gerusan.

Struktur yang dibangun di sungai menjadi tenggelam ketika kedalaman aliran lebih tinggi dari ketinggian struktur. Misalnya, fondasi dermaga jembatan terendam ketika menerima banjir besar selama pembangunannya. Kadang-kadang struktur yang dibangun di sepanjang tepi sungai untuk perlindungan tebing berperilaku seolah-olah struktur yang tenggelam selama banjir besar.

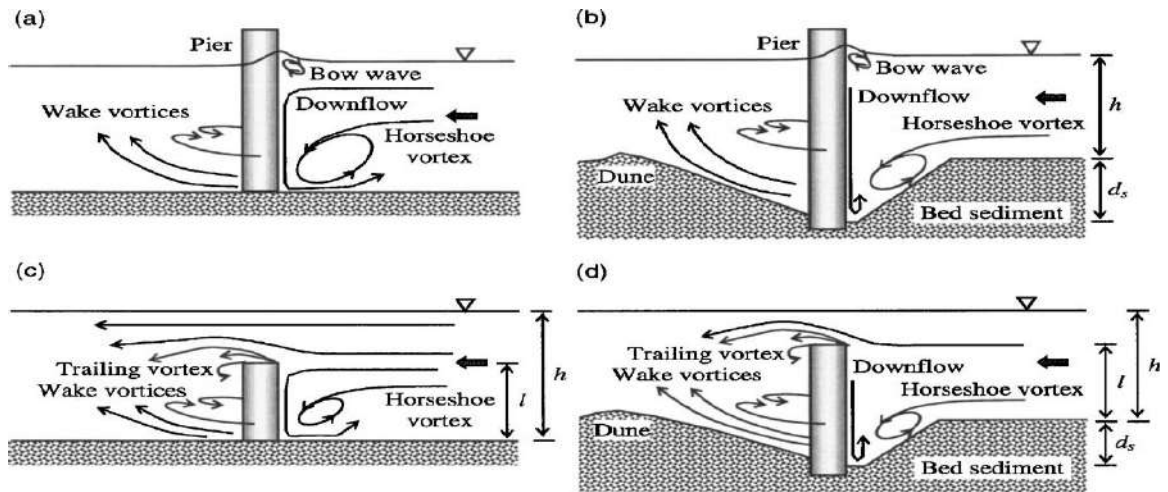
Penggerusan lokal (Garde & Raju, 2000) terjadi akibat adanya turbulensi air yang disebabkan terganggunya aliran, baik besar maupun arahnya, sehingga menyebabkan hanyutnya material-material dasar atau tebing sungai. Turbulensi disebabkan oleh berubahnya kecepatan terhadap tempat, dan waktu. Pengerusan 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 dari tegangan geser kritis dari butiran dasar.

Variabel-variabel yang berpengaruh pada gerusan lokal, meliputi kondisi fluida (kerapatan (ρ), kekentalan (ν), percepatan gravitasi (g), kecepatan aliran (U), kedalaman aliran (h), diameter butiran sedimen (d_z), kerapatan massa (ρ_s), distribusi butiran, bentuk butiran), Faktor kinetik pilar (panjang pilar (L), bentuk muka pilar, Sudut arah pilar (α), jenis antar pilar (λ)).



Gambar 5. Mekanisme gerusan akibat pola aliran air disekitar pilar

Struktur yang dibangun di sungai menjadi tenggelam ketika kedalaman aliran lebih tinggi dari ketinggian struktur. Misalnya, fondasi dermaga jembatan terendam ketika menerima banjir besar selama pembangunannya. Kadang-kadang struktur yang dibangun di sepanjang tepi sungai untuk perlindungan tebing berperilaku seolah-olah struktur yang tenggelam selama banjir besar, seperti pada **Gambar 6** berikut ini pergerakan aliran turbulen mempengaruhi gerusan disekitar bangunan silinder.

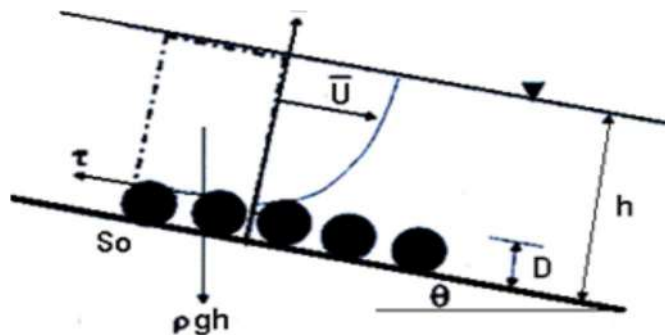


Gambar 6. Aliran pada sekeliling silinder: (a) silinder yang tidak terendam pada alas datar yang kaku; (b) silinder tidak terendam dengan lubang gerusan; (c) silinder terendam di dasar datar kaku; dan (d) silinder terendam dengan lubang gerusan. (Imam R., 2019).

2.2.4 Tegangan Dasar Sungai

Kondisi aliran *uniform flow* pada saluran terbuka digunakan pendekatan analisis tahanan geser (*shear stress*) digambar pada Gambar 7 berikut ini, dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Sudut kemiringan dasar saluran (θ) relative kecil, maka $\sin(\theta) \approx \tan(\theta) = S_o$, dimana S_o adalah kemiringan dasar saluran
- 2) Saluran dengan penampang segi empat
- 3) Kedalaman alirah (h) adalah jauh lebih besar dari diameter butir D
- 4) Kondisi aliran merupakan aliran turbulen *uniform flow*
- 5) Profil kecepatan rata-rata menurut hukum logaritmik (*log-law*)



Gambar 7. Profil gaya pada dasar miring

Pada aliran turbulen digunakan persamaan tegangan geser adalah (Mansida et al., 2021):

$$\tau_o = \rho \cdot g \cdot R \cdot \sin(\theta) = \rho \cdot g \cdot R \cdot S_o \quad (17)$$

Dengan;

$$\tau_o = \rho_w \cdot g \cdot h \cdot S_o \quad (18)$$

$$u_* = \sqrt{g \cdot R \cdot S_o} \quad (19)$$

Dimana : τ_t = tegangan geser turbulen (kg/m^2), g : percepatan gravitasi (m/dt^2), ρ ; massa jenis air (kg/m^3), S_o ; kemiringan dasar saluran (%), $R \approx h$; kedalaman aliran (cm).

Untuk aliran seragam biasanya diasumsikan distribusi kecepatan memanjang. Sehingga kondisi ini tegangan geser rata-rata untuk aliran turbulen berkembang secara maksimal dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_o = \rho \left[\frac{\ddot{U}}{2.5 \ln\left(12.3 \frac{h}{k_s}\right)} \right]^2 \quad (20)$$

Dimana: $\ddot{U}$ = kecepatan aliran rata-rata kedalaman, (cm/dt), k_s ; ketinggian rata-rata kekasaran, h ; ketinggian aliran (cm), ρ ; berat jenis aliran (kg/m^3).

Perubahan tegangan geser yang direduksi turbulensi aliran karena transfer momentum turbulen. Simons dan Li (1983) menyatakan bahwa koefisien variasi (yaitu nilai rms). Artinya dari kecepatan aliran pada saluran bentuk trapesium sekitar 0,20, tetapi koefisien yang sama untuk tegangan geser dasar kira-kira 0,37. Aliran sekunder dapat meningkatkan tegangan geser lokal dan nilai kedalaman air hingga tiga kali lipat. Masalah ini dipertimbangkan secara rinci oleh Ippen dan Drinker (1962), Hooke (1975), Nouth et. al. (1987).

2.2.5 Gerak Awal Sedimen

Gerak awal butir sedimen sangat penting pada suatu system angkutan sedimen khususnya pada degradasi dasar sungai ataupun salun. Pergerakan butir sedimen tidak teratur sehingga sangat sulit untuk mendefinisikan butiran sedimen mulai bergerak. Namun beberapa pendekatan untuk mendefenisikan gerak awal butir sedimen:

- Pendekatan kecepatan aliran (*competent velocity*)
- Pendekatan gaya angkat (*lift force*)
- Pendekatan tegangan geser kritis
- Pendekatan dengan teori probabilitas

Pendekatan tegangan geser kritic dengan mengasumsikan bahwa gaya-gaya aliran (gaya *hidrodinamik*) bekerja pada butir sedimen mencapai suatu nilai tertentu, yaitu gaya

sedikit ditambahkan maka menyebabkan butir sedimen bergerak atau disebut kondisi kritis. Gerak dasar ini biasanya disebut dengan kondisi kritis (Muhammad Saleh Pallu, 2010). Parameter pada kondisi kritis adalah tegangan geser dasar (τ_o), kecepatan aliran (u). Bila tegangan geser dasar (τ_o) lebih besar dari nilai tegangan geser kritis (τ_c), maka butiran sedimen bergerak, atau $\tau_o > \tau_c$, jika butiran sedimen mulai bergerak (awal) apabila tegangan geser (τ_o) dengan tegangan geser kritis (τ_c) nilai sama atau $\tau_o = \tau_c$, dan jika butiran sedimen dasar diam apabila tegangan geser kritis (τ_c) lebih besar dari tegangan geser dasar (τ_o), atau $\tau_o < \tau_c$.

Sedangkan nilai tegangan geser kritis (τ_c) dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan berikut (Hermawan & Afiato, 2021) :

$$\tau_{c*} = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho_w) d_z} \quad (21)$$

Dimana; τ_{c*} = tegangan geser, d_z = diameter ukuran butiran (mm), ρ_s = berat jenis butiran sedimen (kg/m^3) dan ρ_w = berat jenis aliran (kg/m^3). Nilai parameter tegangan geser (τ_{c*}) dapat diperoleh melalui kurva diagram pergerakan partikel butiran *Shields* dengan tergantung terhadap nilai bilangan *Reynolds* (Re). Bilangan *Reynolds* merupakan factor tak berdimensi dengan persamaan berikut :

$$R_e = \frac{u_* \cdot d_z}{\mu} \quad (22)$$

Dimana; R_e = bilangan *Reynolds*, u_* = kecepatan geser (m/dt), d_z = diameter ukuran butiran sedimen (mm), μ = viskositas kinematik (m^2/det).

2.2.6 Angkutan sedimen melayang (*suspended load*)

Kecepatan pengendapan dari partikel tersuspensi pada air yang tenang diperkirakan dengan menggunakan hukum Stokes. (Ray K. Linsley JR., dkk. 1986) sebagai berikut :

$$q_b = \frac{2(\rho_g - \rho) g R^2}{9\mu} \quad (23)$$

Dimana : ρ_g = berat jenis partikel (kg/cm^3) ρ = berat jenis air (kg/cm^3), R = jari-jari partikel (mm), μ = viskositas air. Persamaan 20 tersebut di atas diasumsikan bahwa viskositas hanya memberikan ketahanan terhadap pengendapan, bahwa partikel bersifat tegar dan berbentuk bulat dan jatuhnya tidak dipengaruhi oleh partikel-partikel lain, untuk partikel dari diameter 0,0002 sampai 0,2 mm.

2.2.7 Angkutan Sedimen dasar (*bedload*)

Pergerakan sedimen oleh aliran di sungai terdiri dari sedimen melayang (*suspended load*) dan muatan dasar (*bedload*) yang bergerak disempanjang dasar sungai dengan bergeser, mengguling dan melompat. Angkutan sedimen ke arah pusar turbulen menyebabkan terjadi pengendapan partikel akibat gravitasi. Konsentrasi bahan tersuspensi terbesar di dekat dasar sungai, maka pusaran gerakan ke atas mengangkut sedimen lebih banyak daripada pusaran gerakan ke bawah. Sistem ini dalam keadaan seimbang apabila gerakan akibat gravitasi dan angkutan turbulen dan jumlah material tersuspensi tetap konstan. (Ray K. Linsley JR., dkk. 1986) . Partikel sedimen ukuran kecil seperti tanah lempung dan debu dapat diangkut aliran dalam bentuk terlarut (*suspended load*). Sedangkan partikel yang lebih besar, antara lain pasir cenderung bergerak dengan melompat. Partikel yang lebih besar dari pasir seperti kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai (*bed load*).

Besarnya volume sedimen tersuspensi tergantung dari perubahan kecepatan aliran dipengaruhi oleh perubahan musim hujan, kering dan perubahan kecepatan aliran yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Bentuk morfologi sungai, kekasaran dasar dan tebing sungai, serta kemiringan sungai. Akibat berinteraksi dari kesemua factor di atas sangat menentukan jumlah dan tipe sedimen terhadap kecepatan angkutan sedimen. Sebagai akibat perubahan volume angkutan sedimen akibat terjadi *degradasi* di beberapa tempat di bagian sungai seperti di tebing dan dasar sungai, sehingga akan berdampak terhadap *akumulasi* pada bagian hilir area pengikisan dengan demikian umumnya terjadi perubahan dasar sungai.

Tabel 4. Faktor-faktor gerakan muatan dasar (*bed load movement*)

No	Diameter partikel (dz) (mm)	Koefisien empiris (Y)	Besar gaya geser (τ_c)
1	1/8	0.0032	0.078
2	1/4	0.0019	0.083
3	1/2	0.0011	0.107
4	1	0.0007	0.156
5	2	0.0004	0.249
6	4	0.0002	0.439

Sumber : (Ray K. Linsley JR., dkk. 1986)

Aliran turbulen digunakan persamaan dari Kalinske (Muhammad Saleh Pallu, 2010) sebagai berikut :

$$\frac{U_s}{U_*} = f \left(\frac{\tau_c}{\tau} \right) \quad (24)$$

$$U_s = b (u - u_c) \quad (25)$$

Dimana : u_s dan u adalah kecepatan sedimen dan aliran; u_c adalah kecepatan aliran kritis pada saat bergerak (m/dt), b adalah nilai konstanta 1, u_s = nilai kecepatan rata, u_* adalah kecepatan geser (m/dt). Sedangkan untuk konsentrasi sedimen dasar digunakan pendekatan persamaan van Rijn (1987) sebagai berikut:

$$C_{bed} = 0.015 \cdot \frac{d^{0.3} \left(\frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right)^{1.5}}{g \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w \mu^2} \right)^{0.1}} \quad (26)$$

Di mana d adalah diameter partikel sedimen, τ adalah tegangan geser dasar, τ_c adalah tegangan geser kritis untuk motivasi partikel sedimen berdasarkan diagram Shields, ρ_s dan ρ_w masing-masing adalah partikel sedimen dan kepadatan air, μ adalah viskositas kinematik air, dan g adalah percepatan gravitasi.

Sedimen dasar yang bergerak merupakan jumlah dari fraksi butir yang lepas dari permukaan dasar dan bergerak. Jumlah sedimen dasar total yang terangkut persatuan lebar dirumuskan sebagai berikut:

$$q_{bT} = \sum_{i=1}^N q_{bi} \quad (27)$$

Sedangkan rasio sedimen yang bergerak merupakan perbandingan jumlah sedimen yang terangkut tiap fraksi butir dengan jumlah total yang terangkut dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{bi} = \frac{q_{bi}}{q_{bT}} \quad (28)$$

Pada tegangan geser untuk non dimensional *grainsize* spesifik *shields number* dirumuskan;

$$\tau^* = \frac{\tau_b}{\rho \cdot R \cdot g \cdot D_i} \quad (29)$$

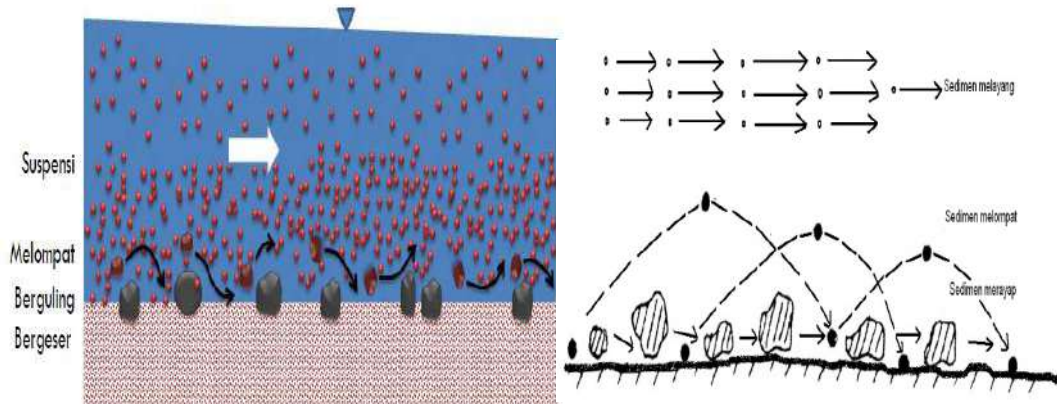
Dimana :

$$\tau_b = \rho \cdot g \cdot R \cdot S_o \text{ atau } \tau_b = \rho \cdot u_*^2 \quad (30)$$

Sehingga besar tegangan geser non dimensional dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau_i^* = \frac{\rho \cdot u_*^2}{\rho \cdot R \cdot g \cdot D_i} = \frac{u_*^2}{R \cdot g \cdot D_i} \quad (31)$$

Angkutan sedimen dasar bergerak dengan cara bergeser (*sliding*), mengguling (*rolling*) dan melompat (*saltation*), seperti pada **Gambar 8** dibawah ini.



Gambar 8. Proses pergerakan sedimen dasar (*bedload*) dan melayang (*suspensi*)

Pendekatan yang digunakan dalam memperkirakan besarnya sedimen dasar pada pengaliran saluran terbuka dengan persamaan empiris metode Meyer Peter Muller (MPM), Einstein dan DuBoys. Persamaan-persamaan dari ketiga metode ini diuraikan di bawah ini.

a. Metode Meyer Peter Muller (MPM)

Penggunaan metode empiris ini harus memenuhi persyaratan seperti partikel sedimen yang dapat digunakan untuk ukuran seragam berkisar 0.4 mm – 29 mm dan berat jenis sedimen 1,25 ton/m³ – 4.0 ton/m³ pada kondisi kemiringan dasar saluran berkisar 4 x 10⁻⁴ – 2 x 10⁻². (Suwarno, 1991).

Persamaan Meyer Peter Muler (MPM) sebagai berikut :

$$q_b = \phi \sqrt{\left[\frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w}\right]} x g D_{50}^3 \quad (32)$$

b. Metode Einstein

Metode Einstein menggunakan persamaan yang persamaan dengan metode Meyer Peter Muler (MPM), dengan perbedaan pada penggunaan diameter material sedimen. Untuk metode Einstein menggunakan ukuran sedimen D₃₅ sedangkan MPM menggunakan D₅₀. Sehingga hasil analisis umumnya menunjukkan perbedaan tidak signifikan atau tidak berbeda jauh. Persamaan metode Einstein (Hermawan & Afiato, 2021) adalah :

$$q_b = \phi \sqrt{\left[\frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w}\right]} x g D_{35}^3 \quad (33)$$

Tahapan analisis dengan menggunakan kedua metode ini adalah :

(1) Menghitung koefisien kekasaran Manning aktual

Dengan kecepatan aliran telah diperoleh melalui pengukuran, maka nilai n dapat dihitung berdasarkan persamaan Manning sebagai berikut;

$$U = \frac{1}{n} \times R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (34)$$

(2) Menghitung koefisien kekasaran Manning untuk dasar rata

$$n' = \frac{D_{90}^{1/6}}{26} \quad (35)$$

(3) Menghitung jari-jari hidrolis yang menampung muatan sedimen dasar

$$R' = R \times \left(\frac{n'}{n}\right)^{1.5} \quad (36)$$

(4) Menghitung Intensitas pengaliran (ψ)

$$\psi = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \times \frac{D_{50}}{R \left(\frac{n'}{n}\right)^{1.5} \times S} \quad (37)$$

(5) Menghitung Intensitas angkutan sedimen (ϕ)

$$\phi = \left[\left(\frac{4}{\psi} \right) - 0.188 \right]^{1.5} \quad (38)$$

Berdasarkan konsep aliran turbulen dan variasi statistic dari gaya-gaya aliran di suatu titik. Pendekatan banyak digunakan adalah dari Einstein, menetapkan intensitas pengangkutan sedimen muatan dasar sungai sebagai berikut:

$$\Phi = \frac{G_i}{\rho_w} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_s - \rho} \frac{1}{g d_{50}^3}} \quad (39)$$

Dan intensitas aliran sebagai :

$$\Phi = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \frac{d_{50}}{SR} \quad (40)$$

Dimana; ρ_w adalah berat jenis air, ρ adalah kerapatan air; ρ_s adalah kerapatan sedimen dasar, d_{50} adalah diameter butiran sedimen (mm), s adalah kemiringan saluran; dan R adalah jari-jari hidrolis. Sedangkan besar gaya seret (*tractive force*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\tau_o = \rho_w \cdot h \cdot S_o \quad (41)$$

Dimana; τ_o adalah gaya seret (*tractive force*), ρ_w adalah berat jenis air (kg/cm²); h adalah kedalaman air (m); S adalah kemiringan garis energi.

c. Metode DuBoys

Prinsip penggunaan metode empiris DuBoys bahwa pengangkutan sedimen diawali dari tegangan gesek atau gaya angkat sampai mencapai nilai kritis. Pengangkutan sedimen merupakan fungsi dari perbedaan antara tegangan gesek sebenarnya dan nilai kritis. Metode DuBoys disarankan pada ukuran partikel berkisar 0.1 mm sampai 4 mm dengan ukuran partikel rata-rata sedimen dan tegangan gesek kritis. (Soemarto, 1986). Persamaan besarnya angkutan sedimen dasar (*Bed Load*) metode DuBoys adalah :

$$q_b = \Psi_D \frac{\tau_o}{\rho_w} \left(\frac{\tau_o - \tau_c}{\rho_w} \right) \quad (42)$$

Dengan nilai tegangan geser dasar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\tau_o = \rho_w h \cdot S_o \quad (43)$$

Sedangkan nilai parameter dari fungsi ukuran sedimen menggunakan persamaan:

$$\Psi_D = \left(\frac{\rho_s d_{50} U}{2 \tau_c} \right) \quad (44)$$

Dimana; q_b = sedimen dasar (kg/dt/m), ϕ = intensitas angkutan sedimen, ρ_s = berat jenis sedimen (kg/m³), ρ_w = berat jenis air (kg/m³), percepatan gravitasi bumi (9.807 m/dt²), d_{50} = diameter butiran sedimen (mm) untuk metode MPM, d_{35} = diameter butiran sedimen (mm) untuk metode Einstein, R = jari-jari hidrolis (m), U = kecepatan pengaliran (m/dt). ψ = intensitas pengaliran, τ = tegangan geser (kg/m²), τ_c = tegangan geser kritis di dasar (kg/m²), d_{50} = diameter butirannya sedimen untuk metode DuBoys, h = kedalaman pengaliran (m), S = kemiringan dasar saluran.

Pengangkutan sedimen dasar (*bed load*) dibuat berdasarkan persamaan klasik dari duBoys sebagai berikut (Ray K. Linsley JR., dkk. 1986):

$$G_i = Y \frac{\tau_o}{\gamma} (\tau - \tau_c) \quad (45)$$

Dimana : G_i adalah laju pengangkutan muatan dasar per lebar satuan sungai; Y adalah koefisien empiris yang tergantung pada ukuran dan bentuk partikel sedimen (lihat **Tabel 3**) di atas; γ adalah berat jenis air (kg/cm³); τ_o adalah gaya geser pada dasar sungai; τ_c adalah besarnya gaya geser pada waktu permulaan pengangkutan. Sedangkan persamaan tegangan geser kritis τ_c adalah :

$$\tau_{c*} = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho_w)d_z} \quad (46)$$

Nilai ψ dan τ_c berdasarkan diameter butiran sedimen dasar rata-rata digunakan pada **Tabel 5** berikut ini. (Seomarto, 1986).

Tabel 5. Hubungan antara ψ dan τ_c

No	Diameter Butir Rerata Sedimen dasar (mm)	Parameter partikel Intensitas pengaliran (ψ)	Tegangan geser τ_c (kg/m ²)
1	0.125	523000	0.0162
2	0.25	312000	0.0172
3	0.5	187000	0.0217
4	1	111000	0.0316
5	2	66200	0.0513
6	4	39900	0.0890

konstanta 1, u_s = nilai kecepatan rata, u_* adalah kecepatan geser (m/dt). (Soemarto, 1986.)

2.2.8 Sifat sedimen gabungan

Dalam teknik sipil klasifikasi sedimen dibedakan menjadi lempung (*clay*), lumpur (*slit*), pasir (*sand*), kerikil (*gravel*), koral (*pebble*) atau kerakal (*cabbles*), dan batu (*boulders*). Menurut Wentworth klasifikasi berdasar ukuran butir dapat disajikan dalam **Tabel 6**.

Tabel 6. Klasifikasi ukuran butir sedimen menurut *Wentworth*

Klasifikasi		Diameter partikel (mm)
Berangkal	Sangat besar	4096 – 2048
	Besar	2048 – 1024
	Sedang	1024 – 512
	Kecil	512 – 256
Kerakal	Besar	256 – 128
	Kecil	128 – 64
Koral (<i>kerikil besar</i>)	Sangat kasar	64 – 32
	Kasar	32 – 16
	Sedang	16 – 8
	Halus	8 – 4
Kerikil		4 – 2
Pasir	Sangat kasar	2 – 1
	Kasar	1 – 0.5
	Sedang	0.5 – 0.25
	Halus	0.25 – 0.125
	Sangat Halus	0.125 – 0.062

Tabel 6. Klasifikasi ukuran butir sedimen menurut *Wentworth* (lanjutan)

Klasifikasi		Diameter partikel (mm)
Lumpur	Kasar	0.062 – 0.031
	Sedang	0.031 – 0.016
	Halus	0.016 – 0.008
	Sangat Halus	0.008 – 0.004
Lempung	Kasar	0.004 – 0.002
	Sedang	0.002 – 0.001
	Halus	0.001 – 0.0005
	Sangat Halus	0.0005 – 0.00024

Menurut (Bambang Triatmodjo, 2008), ukuran butir median d_{50} adalah paling banyak digunakan untuk ukuran butir pasir. Berdasarkan distribusi log normal tersebut, ukuran butir rerata D_m dan Standar deviasi σ_D , derajat penyebaran ukuran butir terhadap nilai rerata sering digunakan koefisien S_o dapat dihitung dengan cara berikut:

$$d_m = \sqrt{d_{16} \cdot d_{84}} \quad (47)$$

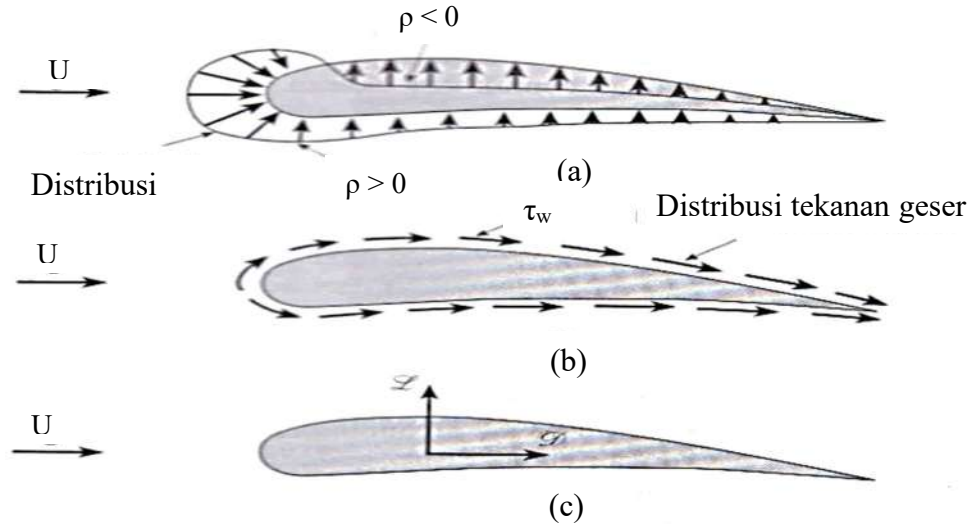
$$S_o = \sqrt{\frac{d_{75}}{d_{25}}} \quad (48)$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} \quad (49)$$

Apabila $1,0 < S_o \leq 1,5$ ukuran butir pasir seragam, untuk $1,5 \leq S_o \leq 2,0$ penyebaran ukuran butir pasir sedang, sedangkan jika $2,0 \leq S_o$ gradasi ukuran pasir sangat bervariasi (tidak seragam). Rapat massa dan berat jenis merupakan fungsi dari komposisi mineral. Rapat massa ρ adalah massa tiap satuan volume, sedangkan berat jenis tanah γ adalah berat tiap satuan waktu volume. Terdapat hubungan antara ρ dengan γ yaitu $\gamma = \rho \cdot g$.

2.2.9 Gaya-gaya yang bekerja pada butiran sedimen dalam air

Sebuah benda apapun bergerak melalui sebuah fluida berinteraksi antara benda dengan fluida, efek ini dapat digambarkan dalam bentuk gaya-gaya gesekan aliran dengan benda. Tegangan-tegangan geser dinding, τ_w akibat efek viskositas dan tekanan normal akibat tekanan normal p . Distribusi tegangan geser dan tekanan ditunjukkan pada **Gambar 9 a** dan **Gambar 9 b**, baik τ_w dan p bervariasi besar dan arahnya disepanjang permukaan. Gaya resultan dalam arah yang sama dengan kecepatan hulu disebut sebagai *drag force* (gaya seret). Gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai gaya angkat (*lift*) seperti pada **Gambar 5 c**. di bawah ini.



Gambar 9. Gaya – gaya dari fluida di sekeliling pada sebuah benda dua dimensi (Bruce R Monson, dkk., 2005)

Drag ini bukan hanya merupakan fungsi dari besar tegangan geser dinding, tetapi juga arah horizontal permukaan dimana gaya bekerja. Apabila permukaan sejajar dengan kecepatan hulu, seluruh gaya geser berkontribusi langsung terhadap *drag*. Dan jika permukaan tegak lurus terhadap kecepatan hulu, tegangan geser tidak memberikan kontribusi apapun terhadap *drag*. Namun demikian, untuk benda-benda yang sangat *streamlined* atau untuk aliran dengan bilangan Reynolds rendah, sebagian besar *drag* mungkin disebabkan oleh *drag* gesekan. Untuk berapa besar nilai *drag* gesekan (D_f) pada pelat datar dengan lebar b dan panjang ℓ yang sejajar dengan hulu dihitung dengan persamaan berikut :

$$D_f = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^2 \cdot b \cdot \ell C_{Df} \quad (50)$$

Dimana; C_{Df} adalah koefisien drag gesekan. Nilai dari C_{Df} diberikan sebagai fungsi dari bilangan Reynolds,

$$Re = \frac{\gamma_w \cdot u \cdot L}{\mu} \quad (51)$$

Koefisien hambatan pada pelat datar aliran turbulen digunakan persamaan berikut:

$$C_{Df} = [1.89 - 1.62 \log \epsilon l - l]^{-2.5} \text{ (turbulen penuh)} \quad (52)$$

$$C_{Df} = 0.455 / [\text{Log} Re]^{2.58} \text{ (turbulen, pelat licin)} \quad (53)$$

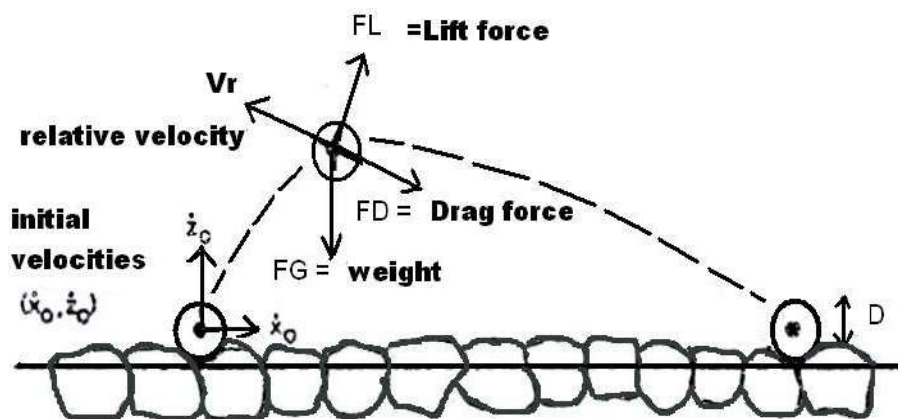
Tabel 7. Persamaan Empiris untuk koefisien Drag Pelat Datar

No	Persamaan	Kondisi Aliran
1	$C_{Df} = 1.328 / (Re_l)^{0.5}$	Aliran Laminer
2	$C_{Df} = 0.455 / \log (Re_l)^{2.58} - \frac{1700}{Re_l}$	Transisi dengan $Re_{xcr} = 5 \times 10^5$
3	$C_{Df} = 0.455 / [\text{Log} Re_l]^{2.58}$	Turbulen, pelat licin
4	$C_{Df} = [1.89 - 1.62 \text{Log} \epsilon l - l]^{-2.5}$	Turbulen penuh

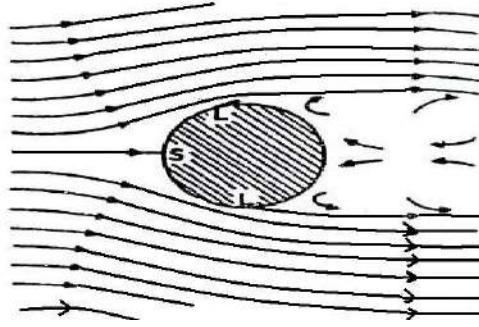
Sumber; (Bruce R Monson, dkk., 2005)

Suatu butiran sedimen dalam aliran fluida akan menerima gaya-gaya fluida jika terdapat pergerakan relative antara butiran dan fluida tersebut. Gaya fluida yang bekerja searah dengan pergerakan butiran disebut gaya seret (*drag force*), sedangkan gaya fluida yang bekerja dengan arah normal atau tegak lurus arah pergerakan butiran disebut gaya angkat (*lift force*) (Muh. Arsyad Thaha, 2006). **Gambar 10** memperlihatkan gaya seret dan gaya angkat pada butiran sedimen dasar. Koefisien C_D dan C_L merupakan fungsi Re .

Daerah aliran terbagi (*disamping slinder*) terlihat kondisi pada kedua kasus tersebut sama, tetapi pada daerah belakang (*wake regions*) memperlihatkan dimensi yang berbeda menyebabkan koefisien seret C_D berbeda pula. Titik S disebut titik stagnasi dan titik L disebut titik separasi. Aliran melalui silinder pada Re yang berbeda seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Gaya seret (*drag force*) dan gaya angkat (*lift force*) pada butiran sedimen (Muhammad Arsyad Thaha, 2006)



Gambar 11. Aliran turbulen disekitar slider (Muhammad Arsyad Thaha, 2006)

Pada umumnya gaya seret hanya diuraikan dalam komponen tekanan saja, karena di samping lebih dominan bekerja pada butiran kecil, juga pengaruh gesekan dan diperhitungkan dalam C_D tersebut. Dengan menggunakan persamaan Bernoulli pada garis aliran stagnasi (titik S pada **Gambar 11**), maka dapat diturunkan persamaan gaya seret F_D adalah:

$$\frac{U_o^2}{2g} + \frac{P_o}{\rho g} + z_o = \frac{U_s^2}{2g} + \frac{P_s}{\rho g} + z_s \quad (54)$$

Pada kondisi stagnasi $U_s = 0$, dan pada elevasi yang sama $z_o = z_s$, maka persamaan di atas dapat ditulis :

$$P_s - P_o = \frac{1}{2} \rho U_o^2 \quad (55)$$

Persamaan (55) mengekspresikan kelebihan tekanan pada titik S sebesar $\frac{1}{2} \rho U_o^2$ dan pada daerah belakang mengalami kekurangan tekanan. Berdasarkan hal tersebut, maka gaya seret (F_D): (Muhammad Saleh Pallu, 2010, 2012)

$$F_D = \frac{1}{2} \rho U^2 C_D A \quad (56)$$

Dimana F_D ; adalah gaya hambatan (N), ρ adalah berat jenis air (kg/m^3), U adalah kecepatan pengaliran (m/dt), C_D adalah koefisien hambatan, A adalah luas lintasan pengaliran (m^2). Dengan koefisien hambatan (C_D) adalah :

$$C_D = \frac{h}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (57)$$

Sedangkan gaya seret (*drag force*) digunakan pendekatan persamaan berikut :

$$F_D = C_2 \tau_c d_s^2 \quad (58)$$

2.3 Bangunan Krib (*Groyne Structure*)

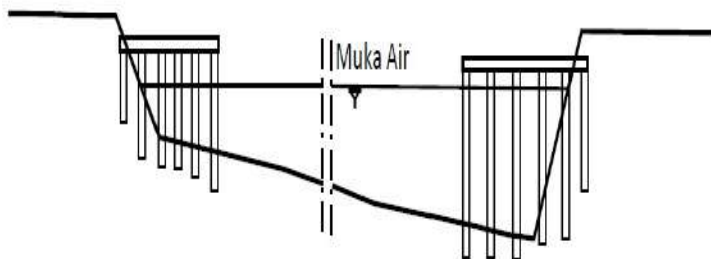
Bangunan krib merupakan salah satu bagian dari penanganan gerusan yang terjadi di tebing sungai. Untuk maksud mengarahkan aliran dan menghindarkan kuat arus dari sepanjang tepi sungai, termasuk pada belokan sungai perlindungan semacam ini merupakan perlindungan tak langsung.

Konstruksi krib diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) tipe konstruksi krib yaitu: tipe *permeabel* (*permeabel type*) dimana air sungai dapat mengalir melalui krib tersebut, tipe *impermeabel* (*impermeabel type*) dimana air sungai tidak dapat mengalir melalui krib tersebut dan tipe *semi-permeabel* (*combined of both the permeabel type and the impermeabel type*). Berdasarkan formasinya, krib dapat diklasifikasikan ke dalam 2 tipe, yaitu tipe silang (*transversal type*) dan tipe memanjang (*longitudinal type*). (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986), (SNI 2400.1.2016).

2.3.1 Klasifikasi Krib

a. Krib permeabel

Krib permeabel ini melindungi tebing sungai terhadap gerusan aliran dengan cara meredam energy yang terkandung dalam aliran sepanjang tebing sungai dan dapat mengendapkan sedimen. Krib permeabel dapat dilalui aliran, oleh karena dapat menurunkan ketahanan terhadap aliran sungai. Maknya diperlukan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan krib impermeable. Konstruksi krib permeable ditunjukkan pada **Gambar 12** di bawah ini.

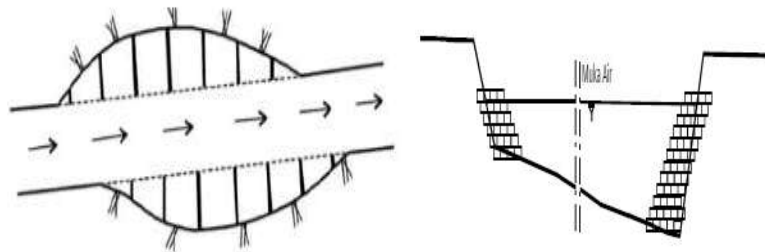


Gambar 12. Konstruksi krib permeabel

b. Krib impermeabel

Krib impermeable yang disebut dengan krib padat, karena air sungai tidak dapat mengalir melalui tubuh krib. Tipe krib untuk membelokan arah arus sungai dan mencegah gerusan yang cukup dalam di depan ujung krib-krib atau bagian sungai di

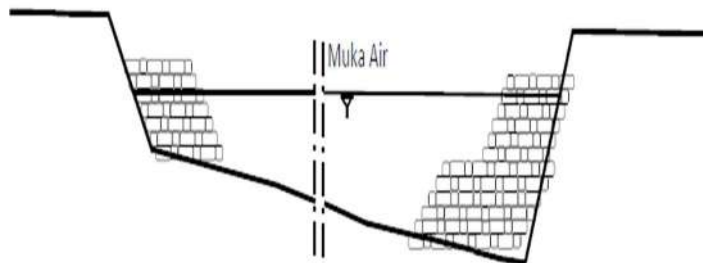
sebelah hilirnya. Krib permeable dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu terbenam dan tidak terbenam. Jenis terbenam terjadi penggerusan yang dalam di sisi hilir krib, akibat terlompas aliran, sehingga sisi hilirnya berfungsi sebagai kolam olakan. Sedangkan jenis yang tidak terbenam dapat menyebabkan terjadinya turbulen aliran di bagian ujung bangunan krib dan menyebabkan gerusan yang cukup dalam. Untuk mencegah gerusan haruslah dipertimbangkan penempatan pelindung dengan konstruksi flexible, seperti matras ataupun hambaran pelindung batu, sebagai pelengkap dari krib padat. (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986), (SNI 2400.1.2016). Ilustrasi konstruksi krib impermeable ditunjukkan pada **Gambar 13**, di bawah ini.



Gambar 13. Lokasi dan konstruksi krib impermeable

c. Krib semi permeable

Krib semi permeable ini digunakan untuk mendapatkan efek positif dari kedua tipe krib, yaitu meningkatkan pengaturan aliran sungai dan meningkatkan stabilitas krib. Krib ini berfungsi ganda yaitu sebagai krib permeable dan krib impermeable atau padat. Biasanya yang padat ditempatkan pada bagian bawah sebagai fondasi, sedangkan bagian atasnya merupakan konstruksi permeable disesuaikan dengan fungsi dan kondisi setempat. (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986), (SNI 2400.1.2016).



Gambar 14. Konstruksi krib semi permeable

d. Krib-krib silang dan memanjang

Krib yang formasinya tegak lurus atau hampir tegak lurus arah arus sungai dapat merintang arus tersebut dan dinamakan krib melintang (*transversal dyke*), sedang krib yang formasinya hampir sejajar arah arus sungai disebut krib memanjang (*longitudinal dyke*). (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986), (SNI 2400.1.2016).

e. Perencanaan krib

Persiapan yang perlu diperhatikan untuk perencanaan (*planning*) stuktur krib, seperti denah, bentuk memanjang, debit air sungai, kecepatan arus sungai, bahan-bahan dasar sungai. Hal ini menjadi pertimbangan untuk menentukan jenis krib, sehingga harus dilakukan survey dengan baik untuk bahan analisis metode pembuatannya ditetapkan secara empiris dengan memperhatikan pengalaman-pengalaman pada krib-krib yang telah dibangun diwaktu-waktu yang lalu. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam proses perencanaan krib-krib adalah sebagai berikut (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986):

- 1) Mengingat metode pembuatan krib-krib sangat tergantung dari resim sungainya perlu diperoleh data mengenai pengalaman pembuatan krib pada sungai yang sama atau yang hampir sama, kemudahan pelaksanaannya dan besarnya pembiayaan.
- 2) Sungai-sungai yang terlalu lebar dan untuk mengurangi turbulensi aliran, maka permukaan air sungai normalnya harus dinaikkan sedemikian rupa dengan krib yang panjang, akan tetapi panjangnya harus dibatasi secukupnya, karena krib yang terlalu panjang disamping biaya pembangunannya lebih tinggi, pemeliharannya akan lebih mahal dan lebih sulit.
- 3) Krib-krib yang akan dibangun antara lain untuk melindungi tebing sungai terhadap pukulan air, maka panjang krib sepanjang ini harus dibatasi, karena krib yang terlalu panjang akan menyebabkan timbulnya pukulan air pada tebing sungai disebelahnya.
- 4) Krib-krib tidak dapat berfungsi dengan baik pada sungai-sungai yang kecil atau yang sempit alurnya.
- 5) Pembuatan krib-krib yang dimaksudkan untuk menaikan permukaan normal air sungai, maka perlu dipertimbangkan kapasitasnya disaat terjadinya debit yang lebih besar atau debit banjir dan juga pertimbangan mengenai trase serta kapasitas alur sungai, guna mempertahankan stabilitas sungai secara keseluruhan.

Adapun fungsi dari parameter penting dalam perencanaan bangunan krib sebagai berikut (Blazejewski et al., 1995):

- a) Variable aliran, antara lain kedalaman dan aliran banjir, jumlah angkutan sedimen suspensi dan angkutan sedimen dasar.
- b) Parameter saluran, antara lain kemiringan dasar, kecepatan aliran sungai, sifat-sifat material dasar, dimensi umum saluran (lebar, tinggi dan kedalaman air terendah)
- c) Beberapa faktor lain, seperti : adanya aliran debris selama banjir, kemungkinan kerusakan bangunan oleh gempa, ketersediaan material dan pondasi.

Penetapan tinggi krib dilakukan lebih menguntungkan apabila evaluasi mercu krib dapat dibuat serendah mungkin ditinjau dari stabilitas bangunan terhadap gaya yang mempengaruhinya, sebaiknya elevasi mercu dibuat 0,50 - 1,00 meter di atas elevasi rata-rata permukaan air rendah. Hasil pengamatan terhadap tinggi berbagai jenis krib yang telah dibangun dan berfungsi dengan baik, diperoleh angka perbandingan antara tinggi krib dan kedalaman air banjir (h_g/H) sebesar 0,20 – 0,30. (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986).

Panjang dan jarak krib antara satu krib dengan lainnya ditetapkan secara empiris (tanpa menggunakan aturan khusus) akan tetapi didasarkan pada perkiraan dan data-data sungai bersangkutan, diantaranya topografi sungai, lebar sungai, kemiringan, debit banjir, kedalaman air, debit normal, material dasar sungai, kondisi disekeliling sungai, dll. Perbandingan antara panjang krib (L) dan lebar sungai digunakan lebih kecil dari 10%.

$$L < \alpha \frac{C^2 h}{2g} \quad (59)$$

Dimana: L adalah Jarak antar krib (m), α adalah parameter empiris ($\approx 0,6$), C adalah koefisien Chezy, $m^{1/2}/det$, h adalah kedalaman air rerata (m), g adalah percepatan gravitasi, ($\approx 9,81 m/det^2$)

Untuk menentukan koefisien Chezy dapat menggunakan rumus bazin dimana koefisien Chezy berdasarkan Bazin (1869), adalah fungsi dari jari-jari hidraulis (R) dan berat jenis fluida (γ).

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_B}{\sqrt{R}}} \quad (60)$$

Dimana : C adalah Koefisien Chezy, $m^{1/2}/det$, R adalah Jari-jari hidrolis, γ_B adalah koefisien yang tergantung pada kekasaran dinding.

Tabel 8. *Bazin* untuk Koefisien yang Tergantung pada Kekasaran Dinding (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986)

No	Jenis Dinding	γ_B
1	Dinding sangat halus (semen)	0,06
2	Dinding halus (papan,batu,bata)	0,16
3	Dinding batu pecah	0,46
4	Dinding tanah sangat teratur	0,85
5	Saluran tanah dengan kondisi biasa	1,30
6	Saluran tanah dengan dasar batu pecah dan tebing rumput	1,75

Tabel 9. Hubungan antara panjang dan interval krib (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986), (SNI 2400.1.2016)

No	Lokasi pembuatan krib sungai	Hubungan jarak (d) Panjang krib (L)
1	Bagian lurus	$d = (1.7 - 2.3) L$
2	Belokan luar	$d = (1.4 - 1.8) L$
3	Belokan dalam	$d = (2.8 - 3.6) L$

Klasifikasi krib berdasarkan kebutuhan desain dibagi menjadi dua yaitu; krib terendam atau tidak terendam. Dalam banyak kasus, krib impermeable dirancang untuk tidak terendam. Untuk kondisi terendam, krib padat rentan terhadap erosi cukup tinggi disepanjang bagian saluran menyebabkan aliran di bagian atas krib. Di sisi lain, krib permeabel lebih cocok untuk kondisi yang terendam karena tidak menciptakan gangguan aliran melayani seperti krib padat .

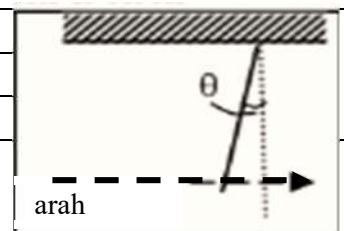
2.3.2 Formasi Krib

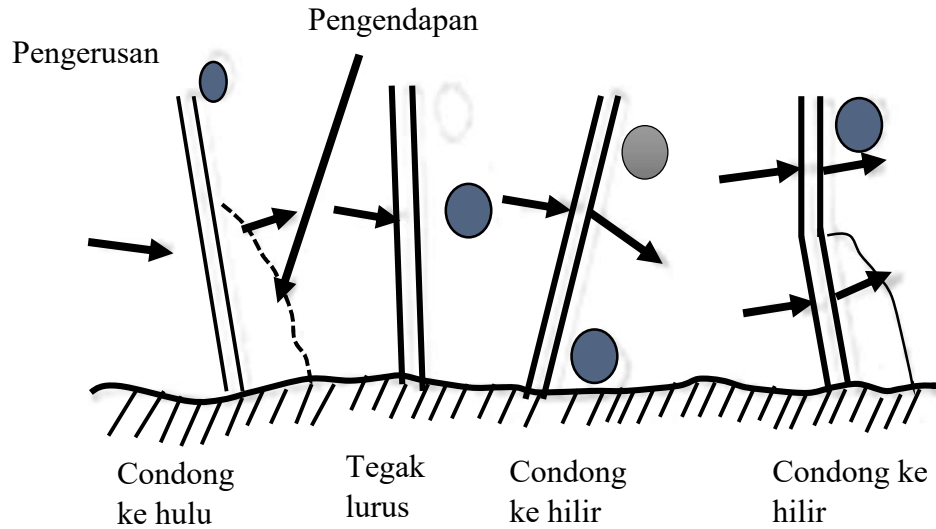
Formasi krib yang umum digunakan terdapat tiga macam formasi krib yang umum diterapkan dalam membangun bangunan krib yaitu tegak lurus arus, condong kearah hulu dan condong ke arah hilir.

Tabel 10. Arah Aliran dan Sudut Sumbuh Krib

Lokasi Pembuatan Krib di sungai	Arah Aliran dan sudut sumbuh krib θ
Bagian lurus	$10^\circ - 15^\circ$
Belokan luar	$5^\circ - 15^\circ$
Belokan dalam	$0^\circ - 10^\circ$

Sumber : Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986





Gambar 15. Formasi krib dan penggerusan-pengendapan pada dasar Sungai (Suyuno Sasrodarsono, dkk., 1986).

2.3.3 Pemilihan Tipe Krib

Tipe krib harus mempertimbangkan berdasarkan fungsi hidrolika dari krib pengalaman-pengalaman yang pernah ada dan contoh-contoh bangunan krib-krib yang dibuat di waktu-waktu yang lalu.

Dalam proses penentuan tipe krib diperlukan perhatian khusus pada hal-hal sebagai berikut :

- Krib permeabel yang rendah dengan konsolidasi pondasi biasanya cukup memadai untuk melindungi tebing sungai.
- Krib tidak cocok untuk sungai-sungai yang sempit alurnya atau untuk sungai-sungai kecil.
- Krib permeabel bercelah besar, seperti krib tiang pancang.
- Krib impermeable dapat mengurangi gerusan pada dasar saluran.

2.4 Analisis Dimensi

Analisis dimensi adalah teknik matematika menggunakan dimensi sebagai alat bantu menyelesaikan beberapa permasalahan teknik. Setiap fenomena fisik dapat dinyatakan dalam persamaan, yang tersusun dari variable-variabel berdimensi ataupun tak berdimensi (Suripin, 2019). Eksperimen penelitian dapat diketahui hubungan antara parameter-parameter tak berdimensi sehingga solusi masalah dapat ditentukan. Analisis dimensi

mempunyai peran penting dalam perencanaan eksperimen terutama pada bidang mekanika fluida dan hidrolika aliran. Dimana konsep dasar analisis dimensi adalah menyederhanakan jumlah variable-variabel terpisah yang tercakup dalam suatu system fisik tertentu menjadi gaya variable tak berdimensi dengan jumlah yang lebih kecil. Sehingga grop variable dipilih sedemikian rupa masing-masing menggambarkan karakteristik fisik yang signifikan. Analisis dimensi merupakan murni matematika dimensi dan kuantitas, yang terdiri dari metode pembentukan variable-variabel yang signifikan ke dalam grup yang tak berdimensi. (Suripin, 2019).

Adapun metode analisis dimensi yang sering digunakan pada penelitian mekanika fluida dan hidrolika aliran yaitu :

- 1) Metode Reyleigh dan
- 2) metode Buckingham

Namun dalam penelitian ini dipilih metode Buckingham memenuhi syarat variable lebih dari 4. Secara umum penggunaan metode ini adalah :

- 1) Variabel-variabel yang terpilih harus variable-variabel fisik yang terpenting,
- 2) Variabel-variabel terpilih harus meliputi semua dimensi
- 3) Variabel-variabel tak tergantung yang tidak berulang sedapat mungkin harus dimasukkan,
- 4) Variable-variabel aliran dasar yang relevan harus dimasukkan yaitu;
 - (a) Variable geometric (L)
 - (b) Variabel kinematic (L,T)
 - (c) Variabel dinamis (L.T, M)

Parameter-parameter analisis dimensi untuk angkutan sedimen (q_b) dikelompokkan sesuai karakteristik variable aliran yaitu variable geometris, kinematis dan dinamis pada **Tabel 12**. Sedangkan **Tabel 13** analisis koefisein gesek (C_D) dengan membagi sesuai variable relevan menjadi variable geometris, kinematis dan dinamis seperti di bawah ini.

Tabel 11. Analisis Dimensi untuk angkutan sedimen (q_b)

Variabel	Geometrik						Kinematik					Dinamik		
	b	h	d_k	L_k	a_k	S	U	g	q_b	t	Q	ρ_w	ρ_s	μ (mu)
Satuan	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm/dt	cm/s ²	cm ³ /hr	menit	cm ³ /dt	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)	(Kg.m/s ²) s/m ² = N.s/m ²
Dimensi	L	L	L	L	L	L	LT ⁻¹	LT ⁻²	L ³ T ⁻¹	T	L ³ T ⁻¹	ML ⁻³	ML ⁻³	ML ⁻¹ T ⁻²
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
L	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	3	-3	-3	1
T	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	1	-1	0	0	-2

Tabel 12. Analisis Dimensi koefisien gesek/koefisien hambat (C_D) krib permeabel

Variabel	Geometrik		Kinematik		Dinamik		
	h	dk	U	g	γ_w	F	μ
Satuan	Cm	cm	Cm/dt	Cm/dt ²	Kg/cm ³	N	Kg. m/s ²
Dimensi	L	L	LT ⁻¹	LT ⁻²	ML ⁻³	MLT ⁻²	ML ⁻¹ T ⁻²
M	0	0	0	0	1	1	1
L	1	1	1	1	-3	1	1
T	0	0	-1	-2	0	-2	-2

2.5 Hipotesis

Hipotesis yang dibangun pada penelitian ini dengan berdasarkan variabel geometrik yaitu lebar (b) dan panjang saluran (L), diameter krib (d_k), kerapatan krib (k_k), jarak krib (L_k), kemiringan saluran (S), diameter sedimen (d_z), variabel kinematic yaitu debit aliran (Q), kecepatan aliran (u) dan gravitasi bumi (g) dan variable dinamik yaitu; berat sedimen (W), berat jenis air (ρ_w), berat jenis sedimen (ρ_s), dengan menggunakan pengaturan aliran krib permeable dapat mempengaruhi perubahan kecepatan aliran, karakteristik aliran dan gerusan di sekitar krib permeable. Penomona aliran turbulen disekitrat krib permeabel menyebabkan dinamisasi perubahan morfologi dasar.

Pengaruh perubahan morfologi dasar sungai merupakan fungsi dari $q_b = \int (d_z, \rho_s, \rho_w, u, h, S, k_k, L_k, d_k, Q, g, \mu)$, dan perubahan karakter aliran berdasarkan bilangan *Reynolds* (Re) merupakan fungsi dari $\int (u, R, \mu \cdot \rho_w)$, sedangkan tegangan geser (τ_o) yang merupakan fungsi dari $\int (\rho_w \cdot g \cdot R \cdot S_i)$, serta tegangan geser kritic (τ_c) yang merupakan fungsi dari $\int (\tau_{c*} \rho_s, \rho_w, h, u, d_{50})$.

2.6 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian tentang penggunaan krib sebagai pengaturan kecepatan aliran dan pencegahan gerusan sungai sebagai berikut :

No	Peneliti / Judul / Publikasi Jurnal	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1	Amir Golpira ; Kaitlyn Koehler ; Andrew All ; and Abul B. M. Baki, (2020) An Experimental Study: Effects of Boulder Spacing on Mean and Turbulent Flow Characteristics, World Environmental and Water Resources Congress 2020.	(1) Pengujian karakteristik aliran turbulen menggunakan variasi kerikil; (2) Dasar saluran dengan tebal 5 cm sepanjang 2.40 m dari Panjang flum 13 m;. (3) Pengukuran kecepatan 3D dilakukan dengan alat Velocimeter Doppler akustik Vectrino (ADV).	(1) Karakter aliran turbulen sangat kompleks di dasar saluran dan perubahan peningkatan seiring dengan penurunan kerikil; (2) Meningkatkan pengetahuan tentang pola transportasi sedimen dan sesuai dengan benda-benda yang ada di dasar saluran.	(1) Karakter aliran turbulen; (2) Menggunakan bahan-bahan untuk mengatur kecepatan aliran; (3) Pencegahan gerusan dasar saluran; (4) Peredam energi aliran	(1) Penempatan bahan uji di dasar saluran dengan kerikil; (2) Pengamatan perubahan morfologi tidak dilakukan; (3) Analisis karakter aliran akibat bongkahan kerikil di dasar saluran tidak dilakukan.
2	Hui Cao, Chen Ye, Xu-Feng Yan, Xing-Nian Liu and Xie-Kang Wang, (2020), Experimental investigation of turbulent flows through a boulder array placed on a permeable bed, Water Supply 2020	(1) Pengujian dilakukan untuk menguji aliran turbulen di dasar saluran dengan menempatkan batu alam dan bola plastic dia. 40 mm; (2) Pengukuran kecepatan 3D dilakukan dengan alat Velocimeter Doppler akustik Vectrino (ADV).	(1) Karakteristik aliran dan intensitas aliran turbulen, energi kinetic turbulen (TKE); (2) Penempatan batu-batu besar dengan bola plastic dapat menurunkan kecepatan aliran dan tekanan geser dasar.	(1) Karakter aliran turbulen; (2) Menggunakan bahan-bahan untuk mengatur kecepatan aliran; (3) Pencegahan gerusan dasar saluran; (4) peredam energi aliran	(1) Penempatan bahan uji di dasar saluran dengan batu besar dan bola plastik, (2) Pengamatan perubahan morfologi tidak dilakukan,
3	Amir Golpira , Fengbin Huang and Abul B.M. Baki, (2020) The Effect of Habitat Structure Boulder	(1) Pengujian Tegangan Geser dasar dan Aliran turbulen menggunakan variasi kerikil; (2) Dasar	(1) Pengaruh bongkahan kerikil di dasar dapat mengurangi tegangan geser; (2) Pengaruh bongkahan	(1) Pencegahan gerusan dasar saluran; (2) Mengurangi efek aliran tegangan geser turbulen	(1) Pengamatan perubahan morfologi tidak dilakukan; (2) Penempatan bahan uji

	Spacing on Near-Bed Shear Stress and Turbulent Events in a Gravel Bed Channel, Water 2020, 12, 1423.	saluran dengan tebal 5 cm sepanjang 2.40 m dari Panjang flum 13 m; (3) Pengukuran kecepatan 3D dilakukan dengan alat Velocimeter Doppler akustik Vectrino (ADV).	kerikil di dasar saluran menyebabkan kontribusi kejadian aliran turbulen seragam dan tegangan geser Raynolds; (3) Bongkahan kerikil yang terendam menyebabkan berkurangnya tegangan geser dan sedimen	(3) Mangatur energi kinetic turbulen (TKE); (4) Mengatur kecepatan aliran	di dasar saluran dengan kerikil,
4	Qian Li, Yu-hong Zeng, Wei Zha (2020), Velocity distribution and turbulence structure of open channel flow with floating-leaved vegetation, Journal of Hydrology 590 (2020) 125298.	(1) Pengujian distribusi kecepatan aliran vertikal dan turbulensi struktur aliran saluran terbuka dengan vegetasi berdaun mengambang; (2) Menggunakan daun teratai bionik yang dipasang pada silinder kayu melingkar digunakan untuk meniru vegetasi berdaun mengambang; (3) Kecepatan 3D diukur dengan menggunakan velocimeter Doppler akustik	(1) Pengaruh tutupan vegetasi meningkatkan kemiringan kecepatan diantara batas daun dengan batas dasar saluran; (2) Kontribusi tekanan turbulensi di bagian dasar saluran; (3) Tegangan Reynolds pada daerah daun terapung terjadi penurunan, tetapi berdampak terhadap dasar saluran yang tidak terdapat hambatan aliran.	(1) Pengaturan kecepatan aliran; (2) Mengamati turbulensi aliran; (3) Mengurangi energy kinetic turbulen (TKE)	(1) Pengujian morfologi dasar sungai tidak dilakukan; (2) Penggunaan vegetasi berdaun mengambang sebagai pengaturan kecepatan aliran; (3) Pengujian karakteristik aliran tidak dianalisis; (4) Tidak menampilkan formula analisis.
5	Liang Choufu, dkk. (2019). <i>Investigation of Flow, Erosion, and Sedimentation Pattern around Varied Groynes under Different Hydraulic</i>	(1) Konfigurasinya dengan Van-Rijn pada transpor sedimen menggunakan numerik eksperimen; (2) Simulasi numerik dilakukan dengan konduksi FLOW-3D	(1) Krib berukuran besar ke kecil pada sudut 45° menurunkan kedalaman gerusan hingga 55%; (2) Pengaturan yang kecil ke besar pada sudut 135°	(1) Menggunakan krib; (2) Pengurangan kedalaman gerusan	(1) Variasi jarak krib; (2) Tidak menampilkan Formula; (3) Jenis material dasar saluran; (3) Aliran turbulen

	<i>and Geometric Conditions: A Numerical Study</i> , Water 2019, 11, 235. MDPI.		mengurangi kedalaman gerusan hingga 72%.		
6	Ronald Möws and Katinka Koll, dkk., 2019. <i>Roughness Effect of Submerged Groyne Fields with Varying Length, Groyne Distance, and Groyne Types</i> , Water 2019, 11, 1253. MDPI.	(1) Eksperimen laboratorium dilakukan meneliti efek backwater dan ketahanan aliran bidang krib terendam dengan bervariasi dan jarak krib; (2) Efek dari bentuk model krib diselidiki dengan menggunakan dua jenis krib	(1) Efek backwater yang lebih tinggi untuk krib sederhana yang terbuat dari pelat multipleks dibanding krib yang terbuat dari kerikil; (2) Kekasaran tertinggi bidang krib pada kepadatan kekasaran.	(1) Menggunakan krib; (2) Kecepatan aliran; (3) Aliran turbulen; (4) Uji Laboratorium	(1) Krib tidak terendam; (2) Tegangan geser dan kecepatan geser kritis; (3) Tidak ada Formula; (4) Gerusan lokal
7	Mona M. Mostafaa, dkk. (2019) <i>Experimental study off low characteristics around flood plain single groyne</i> . Journal of Hydro-environment Research, Elsevier.	(1) Menggunakan saluran campuran yang berbeda dengan satu dan dua lebar; (2) Gelombang banjir simetris yang simetris dengan masing-masing 1 dan 2 kali lebar saluran utama	(1) Peningkatan daya tahan hingga 60%, pengurangan daya hingga 30% ke tingkat maksimum dan 22% untuk kecepatan diamati; (2) Panjang krib permeabel memiliki pengaruh terbatas pada struktur aliran	(1) Menggunakan krib permeable; (2) Studi Laboratorium	(1) Variasi jenis krib; (2) Variasi jarak; (3) kerapatan krib; (4) Tidak menampilkan formula; (5) Menguji ketahanan krib terhadap banjir
8	Mohammad Hemmatia dan Pejman Daraby. (2019). <i>Erosion and sedimentation patterns associated with restoration structures of bendway weirs</i> , KSCE Journal of Civil	Pengujian efek bending bendway pada proses sedimen, percobaan dilakukan di tikungan 90° dengan kelengkungan relatif 3,3 dengan dan tanpa bendung.	(1) Memodifikasi morfologi tikungan sungai dan efisiensi mereka dalam mengurangi erosi dan sedimentasi; (2) Kedalaman gerusan maksimum menurun dengan peningkatan kemiringan puncak	(1) Pengamatan gerusan; (2) Pengendapan sedimen	(1) Menggunakan pengujian dengan bending sebagai pencegahan erosi; (2) Tidak menggunakan krib; (3) Tidak menampilkan formula

	Engineering. Hydraulic Engineering, Springer.				
9.	Joanna Korpak, et.al. 2019. <i>Effect of Riffle Sequences on discharge and sedimen transport in a Montain Stream</i> . Jorunal of Ecological Engineering. ASCE	(1) Penelitian lapangan model riffle buatan dengan maerial digunakan adalah kerikil; (2) Pengukuran menggunakan Topcon Perangkat GPS Hiper II.	(1) Dengan <i>riffle</i> buatan dapat menghambat laju tranportasi sedimen, penyebabnya adalah tidak cukup tekanan aliran dasar; (2) Endapan sedimen sangat tinggi di reservoir.	(1) Mengamati pengendapan sedimen; (2) Mengamati penyebab pengendapan sedimen; (3) Prilaku aliran	(1) Dilakukan di Laboratorium; (2) Aliran turbulen tidak dijelaskan; (3) Menggunakan material dasar saluran dari tanah
10.	Pratiwi Azis dan Akihiro Kadota, 2018. <i>Experimental Study of Marphological Changes and Flow Structure around the Vegetation Groyne</i> . Advanced Science Engineering Irmatioan Teknologi	(1) Penelitian ini, dengan objek variasi diameter krib vegetasi diameter, 10 mm, 8 mm, (2) Kerapatan krib 1/10 dan 1/5	(1) Mereduksi mengurangi kecepatan aliran sungai; (2) Mengendapkan sedimen dan mengurangi gerusan local; (3) Pengaruh krib vegetasi signifikan terhadap perubahan aliran	(1) Menggunakan krib vegetation permeable; (2) Meneliti kinerja krib terhadap aliran dan gerusan local; (3) Variasi diameter krib vegetasi dan keraptannya; (4) Uji Laboratorium	(1) Variasi sudut krib vegetasi; (2) Pengaruh perubahan dasar disekitar krib; (3) Pengaruh aliran turbulen; (4) Dasar saluran tanah; (5) Jenis material dasar saluran
11.	Theofano, dkk., 2018 <i>Groyne spacing role on the effective control of wall shear stress in open-channel flow</i> . Taylor dan Francis	(1) Menggunakan metode dengan variasi jarak krib dengan jarak seragam dan non seraga; (2) Patokan jarak adalah $D / b \leq 6$ dan $D / b \leq 1.5$	(1) Krib jarak seragam konfigurasi paling efektif adalah jarak sama dengan enam groyne Panjang; (2) Efektifitas dicapai dengan konfigurasi non-seragam jarak antar krib	(1) Meneliti pengaruh tegangan geser; (2) Kinerja gerusan pada saluran; (3) Variasi Jarak krib	(1) Variasi diameter dan kerapatan krib; (2) Pengaruh perubahan dasar saluran; (3) Tidak menampilkan formula
12.	Baafour Nyantekyi-Kwakye, at al. 2018	(1) Eksperimen dilakukan skala besar (LS) panjang flum 14 m, lebar 1,22 m dan	Pengaruh kekasaran dapat mengurangi efek gradien	(1) Aliran turbulen; (2) Tegangan geser; (3)	(1) Material dasar sungai; (2) Pengaruh aliran turbulen pada

	<i>Roughness effect on turbulent flow structure beneath a simulated ice jam.</i> Journal of Hydraulic Research, Taylor & Francis.	dalam 0,6 m; (2) Flum terbuat lapisan kayu lapis kepadatan tinggi (HDO) pada kemiringan dasar 0,0025; (3) Menggunakan media penghalang kasar dan halus.	tekanan di bagian ujung bawah media penghalang.	Media penghalang aliran di dasar saluran	bangunan; (3) Tidak mengamati pengendapan; (4) Tidak variasi media struktur
13.	Like Li, Niannian Fan and Xingnian Liu, 2018. <i>Experimental study on flow structure in riffle-pool channels, Earth and Environmental Science</i>	(1) Menggunakan panjang tangki uji 18 m dan gradien palung lebar dengan lebar 0,8 m dan titik tersempit hanya 0,38 m: (2) Kemiringan wastafel adalah 0,015 dan laju aliran adalah 50 L/s.	(1) Permukaan air kurang dipengaruhi oleh geometri saluran sungai; (2) Hukum logaritma tidak hanya berlaku untuk area dekat tembok aliran seragam saluran terbuka; (3) Fluktuasi Reynolds dari permukaan dinding dekat besar, dan tebing memiliki efek geser	(1) Memperelajari aliran turbulen; (2) Pengaruh tegangan geser turbulen; (3) Diuji di laboratorium	(1) Materil dasar saluran pasir; (2) Tidak menggunakan struktur sebagai penghalang aliran; (3) Menggunakan media dasar saluran tanah
14	Sahameddin Mahmoudi K, M. and Stefano Pagliara, 2017. <i>Experimental Study on Cross-Vane Scour Morphology in Curved Horizontal Channels.</i> ASCE	(1) Uji Ekperimental Menggunakan air bersih; (2) Menggunakan saluran melengkung tiga tikungan R= 1,2 dan 4 m); (3) Saluran lurus transisi sepanjang 2 m antara tikungan yang lainnya.	(1) Tikungan saluran pada nilai dan posisi kedalaman pengikisan maksimum; (2) Meningkatnya radius tikungan mempengaruhi penurunan nilai kedalaman pengikisan maksimum	(1) Kinerja gerusan saluran; (2) Perubahan morfologi	(1) Tindak menggunakan perlakuan krib pencehan gerusan; (2) Tidak menampilkan formula; (3) Jenis material dasar saluran
15	Wolfgang Rodi, dkk. 2017. <i>Turbulence Modeling and Simulation</i>	Metode yang digunakan dengan : (1) Hubungan eksperimental; (2) metode statistic memecahkan	Model RANS digunakan terjadi ketika aliran turbulen karena struktur berskala besar	(1) Meneliti pengaruh aliran aliran turbulen; (2) Menelitian karakter aliran	(1) Pengaruh aliran turbulen terhadap gerusan; (2) Tidak menampilkan formula;

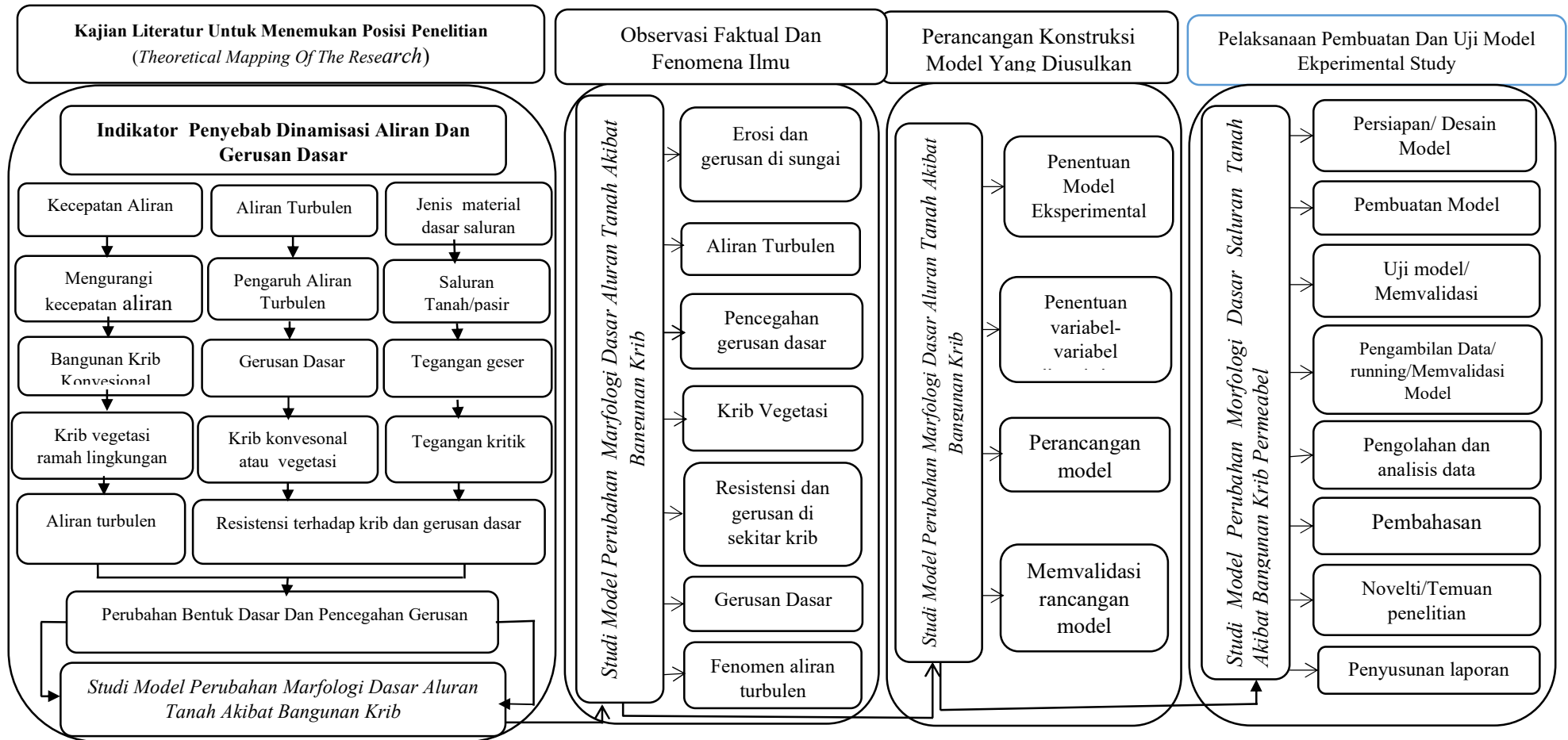
	<i>in Hydraulics: A Historical Review</i> . ASCE	persamaan Raynolds average Navier-Stokes (RANS)	berperan dominan terhadap turbulensi		(3) Jenis material dasar saluran
16	F. Douglas Shields J, Kevin G. Coulton, Heidi Nepf. 2017. <i>Representation of Vegetation in Two-Dimensional Hydrodynamic Models</i> . ASCE	Menggunakan vegetasi di dataran banjir dengan model dinamik simulasi dua dimensi.	Vegetasi berdamfak pada ketahanan aliran dan Protiper berskala lebih besar seperti vegetasi peredam energy aliran	(1) Menggunakan vegetasi sebagai krib; (2) Meneliti ketahanan vegetasi terhadap energy aliran	(1) Tidak mengamati gerusan; (2) Tidak dilakukan variasi perlakuan vegetasi; (3) Jenis material dasar saluran
17	Akbar Safarzadeh, dkk. 2016. <i>Experimental Investigation on 3D Turbulent Flow around Straight and T-Shaped Groynes in a Flat Bed Channel</i> . Zarrati, ASCE	(1) Metode digunakan bentuk krib lurus dan krib berbentuk T dua buah pada saluran lurus; (2) Menggunakan flum tiga dimensi untuk mengamati turbulensi aliran.	Pada bentuk krib lurus tidak memberikan efek pusaran aliran yang lebih kecil dibanding dengan krib berbentuk T, sehingga dapat mencegah terjadinya gerusan lokal.	(1) Meneliti karakter aliran turbulen; (2) Pengaruh aliran turbulen terhadap gerusan local	(1) Variasi jarak krib; (2) Formasi bentuk dasar akibat krib; (3) Tidak menampilkan formula; (4) Jenis material dasar saluran
18	Alexander N. Sukhodolov, Tatiana A. Sukhodolova, Dan Julian Krick, 2016. <i>Effects of vegetation on turbulent flow structure in groyne fields</i> . Taylor dan Francis	Menggunakan dua jenis vegetasi Penelitian - Woody cylinders mewakili vegetasi riparian yang keras Strip silikon digunakan sebagai vegetasi akuatik yang fleksibel.	(1) Pengaruh signifikan mengubah tanaman air dan hambalan vegetasi sungai dengan mengubah sistem sirkulasi besarnya kecepatan aliran; (2) Krib vegetasi dapat mengurangi tekanan aliran; (3) Dimamika aliran krib vegetasi dapat dimodelkan, cukup baik.	(1) Menggunakan krib vegetasi sebagai model mengurangi tekanan aliran; (2) Meneliti prilaku aliran	(1) Tidak ada variasi bentuk krib; (2) Tidak dijelaskan jenis material dasar saluran; (3) Tidak meneliti gerusan; (4) Perubahan morfologi saluran
19	Cayono Iksan, dkk. 2016. Efek Tegangan geser	(1) Penelitian di Laboratorium dengan <i>flume</i> ,	(1) Kemiringan dasar saluran yang berdampak pada	(1) Pengamatan dilakukan di	(1) Tidak mengamati pola perubahan lapisan

	Dasar yang terjadi pada lapisan pelindung Terhadap Karakteristik Kemiringan Dasar saluran. Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil.	menggunakan <i>a small tilting, sediment feed flume</i> ; (2) Dimensi panjang 10 m, tinggi 0.45 m, dan lebar 0.6 m. material dasar digunakan gradasi kerikil (<i>gravel</i>) Kaca flume terbuat dari plexiglass.	peningkatan nilai tegangan geser; (2) Sedimen yang terangkut sudah mencapai maksimal dan berkurang secara bertahap sampai mendekati nol;	Laboratorium; (2) Menggunakan material sedimen dasar, namun menggunakan kerikil (<i>gravcl</i>); (3) Mengamati pengaruh tegangan geser.	dasar; (2) Karakteristik aliran; (3) Tidak menggunakan bangunan untuk mempengaruhi perubahan dasar saluran
20	Daniel S. Hersberger; Mário J. Franca; and Anton J. Schleiss. 2015. <i>Wall-Roughness Effects on Flow and Scouring in Curved Channels with Gravel Beds</i> . ASCE.	(1) Penelitian eksperimental dinding tikungan saluran 90° pada laboratorium; (2) Tes sistematis dilakukan dengan menggunakan distribusi ukuran batuan dan kasar; (3) Formasi gerusan dan distribusi kecepatan aliran di saluran; (4) Menggunakan tebing kasar dengan batuan dan dasar saluran kerikil	(1) Konfigurasi kekasaran tebing menunjukkan hasil yang optimal mengurangi pengikisan/gerusan; (2) Punggungan dinding tikungan berfungsi sebagai pendistribusian kekasaran secara merata; (3) Pengurangan lebar melintang sungai meningkatkan kecepatan aliran.	(1) Meneliti gerusan tebing saluran; (2) Pencegahan gerusan dan aliran	(1) Formasi bentuk gerusan; (2) Aliran turbulen tidak dilakukan; (3) Variasi perlakuan krib tidak dilakukan; (4) Variasi material dasar; (5) Tidak ada menampilkan Formula
21	C. Jamieson,; C. D. Rennie, ; and R. D. Townsend, 2013. <i>3D Flow and Sediment Dynamics in a Laboratory Channel Bend with and without Stream Barbs</i> .ASCE	(1) Menggunakan krib tenggelam (<i>submerged</i>); (2) Menggunakan kecepatan aliran cepat; (3) Saluran melengkung 135°	(2) Hasil diperoleh pada daerah melengkung saluran potensi gerusan sangat tinggi; (2) Pengikisan lebih besar jika tanpa ada krib pencegahan gerusan; (3) Aliran cepat terjadi secara alami pada saluran tikungan	(1) Meneliti gerusan; (2) Pengaruh kecepatan aliran terhadap gerusan	(1) Formasi bentuk dasar gerusan; (2) Aliran turbulen terhadap gerusan; (3) Variasi bentuk krib; (4) Variasi jarak krib
22	G. Constantinescu, M.ASCE, S. Miyawaki,	(1) Eksperimental dan numerik <i>state-of-the-art</i> ; (2)	(1) Kerang memberikan medan aliran turbulen sangat	(1) Meneliti aliran turbulen; (2) Pengujian	(1) Pengaruh aliran turbulen terhadap

	and Q. Liao. 2013. <i>Flow and Turbulence Structure past a Cluster of Freshwater Mussels</i>) ASCE	Menggunakan karang air tawar sebagai struktur aliran turbulen; (3) Menggunakan <i>Large-eddy Simulation</i> (LES) dan <i>particle image velocimetry</i>	kompleks, cukup menantang menggunakan model numerik; (2) <i>The Large-eddy Simulation</i> (LES) aliran fisika dan peran struktur secara komprehensif untuk berskala besar pada sebuah kasus seperti ini.	di laboratorium; (3) Menggunakan hambatan aliran	tegangan geser; (2) Aliran turbulen terhadap gerusan; (3) Krib tidak digunakan untuk pencegahan gerusan
22.	E. C. Jamieson, M.ASCE, C. D. Rennie, M.ASCE and R. D. Townsend. 2013. <i>Turbulence and Vorticity in a Laboratory Channel Bend at Equilibrium Clear-Water Scour with and without Stream Barbs</i> . ASCE	Spasial rapat, tinggi kecepatan frekuensi dikumpulkan dan dianalisis untuk menggambarkan pola dan amplitudo kecepatan tiga dimensi (3D). melengkung dan mendekati akhir aliran	(1) Mengkarakterisasi peran dinamika medan aliran pada pola pengendapan erosi; (2) Pengukuran eksperimental memberikan pola aliran berkontribusi terhadap gerusan lokal, dan (3) kinerja struktur mengatur aliran	(2) Meneliti fenomena kecepatan aliran; (2) Pola pengendapan; (3) Pola aliran turbulen	(1) Tidak menggunakan bangunan pengatur pola aliran; (2) Tegangan geser; (3) Variasi krib; (4) Jenis materil saluran
23	Hasdaryatmin Djufri, Mary Selintung, dan Mukhsan Putra Hatta. 2012. <i>The Impact Of Permeable Type Upstream Groin On Scour Of River Bend</i> . Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin Makassar	Material pembentuk saluran berupa pasir diameter butiran rata-rata 0,47 mm, krib permeabel besi tulangan diameter 0,30 cm, alat ukur kecepatan, alat ukur kedalaman aliran.	(1) Krib permeabel hulu belokan berdampak pada pengurangan gerusan; (2) Penurunan kecepatan aliran di belakang krib; (3) Krib hulu tipe permeabel dengan jarak antar tiang yang kecil lebih efektif; (4) Krib hulu tipe permeabel lebih efektif pada sudut belokan yang besar	(1) Krib permeable; (2) Media dasar saluran pasir; (3) Pengujian di laboratorium; (4) Pengamatan kecepatan aliran	(1) Tidak menguji pengaruh tegangan geser; (2) Di bagian hulu krib; (3) Tidak mengamati endapan sedimen; (4) Tidak dilakukan variasi kerapatan krib

24	Amrullah M, Mary Selintung, Muh. Saleh Pallu dan Mukhsan Putra Hatta, (2022), Studi Model Perubahan Morfologi Dasar Saluran Tanah Akibat bangunan Krib	(1) Material sebagai sedimen; tanah-pasir diameter $d_{30} = 0.236$ mm, $d_{50} = 0.265$ mm; (2) Krib permeable kayu bulat ($d_{k1} = 9$ mm dan $d_{k2} = 17$ mm); (3) Kerapatan krib ($a_{k1} = 9$ mm dan $a_{k1} = 12$ mm), (4) Panjang krib $p = 25$ cm; (5) Jarak krib ($L_{k1} = 60$ cm dan $L_{k1} = 90$ cm); (5) Variasi kemiringan dasar saluran ($S_1 = 0.5\%$, $S_2 = 1.7\%$, $S_3 = 2.4\%$); (6) Variasi debit ($Q_1 = 1.03$ cm ³ /dt, $Q_2 = 1.21$ cm ³ /dt, $Q_3 = 1.31$ cm ³ /dt,); (7) Pengukuran kecepatan aliran (U) dan pola gerusan serta volume gerusan	(1) Krib permeable menyebabkan perubahan dinamika sifat aliran; (2) Penurunan kecepatan aliran akibat krib kayu bulat permeable; (3) Krib permeable kayu bulat menyebabkan resistensi aliran turbulen meningkat; (4) Perubahan tegangan geser dan tegangan geser kritis akibat resistensi aliran turbulen; (5) Peningkatan gerusan disekitar krib permeable akibat resistensi aliran turbulen; (6) Terjadi pengendapan sedimen di antara krib akibat gerusan di sekitar krib akibat resistensi aliran turbulen	(1) Krib Permeabel; (2) Pengujian di laboratorium; (3) Pengamatan kecepatan aliran; (4) Karakteristik aliran; (5) Perubahan tegangan geser	(1) Pengujian dengan krib permeable kayu bulat; (2) Variasi digunakan, kerapatan krib (a_k), jarak krib (L_k), diameter krib (d_k), kemiringan dasar saluran, Debit aliran; (3) Perubahan morfologi dasar saluran di sekitar krib; (4) Perubahan tegangan geser (T_o) akibat krib; (5) Perubahan gaya seret/hambat (D_f)
----	--	--	--	--	--

2.7 Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 16. Kerangka Pikir Penelitian

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bentuk dan jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan studi ekperimental dengan melakukan pengujian di laboratorium untuk menguji sebab akibat kecepatan aliran dan pengaruhnya terhadap perubahan morfologi dasar saluran. Penelitian eksperimental merupakan observasi dibawah kondisi buatan (*ortificial condition*). Eksperimental dengan merekayasa sedemikian rupa model krib permeabel dan variabel lainnya dengan skala menyesuaikan kapasitas pompa dan saluran laboratorium. Hubungan pengaruh-pengaruh perubahan morfologi dasar saluran dan dilakukan dengan eksplorasi berdasarkan tujuan penelitian. Menurut Sugiyono (2018) penelitian eksperimen diartikan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi terkendalikan. Penelitian kuantitatif ini mempunyai ciri khas tersendiri, terutama dengan adanya kelompok kontrolnya. Data diharapkan dari dua sumber yaitu data varibel bebas dan variabel terikat.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa dengan waktu penelitian dilaksanakan selama 7 (tujuh) bulan, dimulai Maret s.d. September 2021.

3.3 Rancangan Penelitian

3.3.1 Bahan penelitian

Pendukung utama kelancaran penelitian ini, ditentukan oleh ketersediaan alat dan bahan yang baik, agar diperoleh data yang akurat dan orginal (*natural*). Bahan yang digunakan sebagai media sedimen di saluran adalah tanah-pasir yang diambil sungai Maros sedangkan media krib permeabel digunakan kayu bulat berdiameter 9 mm dan 12 mm. Media dasar saluran dengan tanah – pasir sesuai hasil pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa dengan melakukan *Sieve Analysis* untuk mendapat ukuran butir dan berat jenis media sedimen saluran pengujian.



Gambar 17. (a) Tanah – Pasir, (b) kayu bulat diameter krib permeable (d_{k1})= 9 mm, dan (c) diameter krib permeable (d_{k2})= 17 mm

Air yang digunakan sebagai media pengaliran saluran adalah air tawar di Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Media saluran digunakan dari bahan akrelit 100 mm dan dibuat dalam bentuk persegi panjang dengan ukuran lebar (b) 40 cm dan tinggi (h) 45 cm dan Panjang (L) 900 cm. kemudian baja siku sebagai rangka model penelitian dibuat sedemikian rupa seperti pada gambar rancangan penelitian.

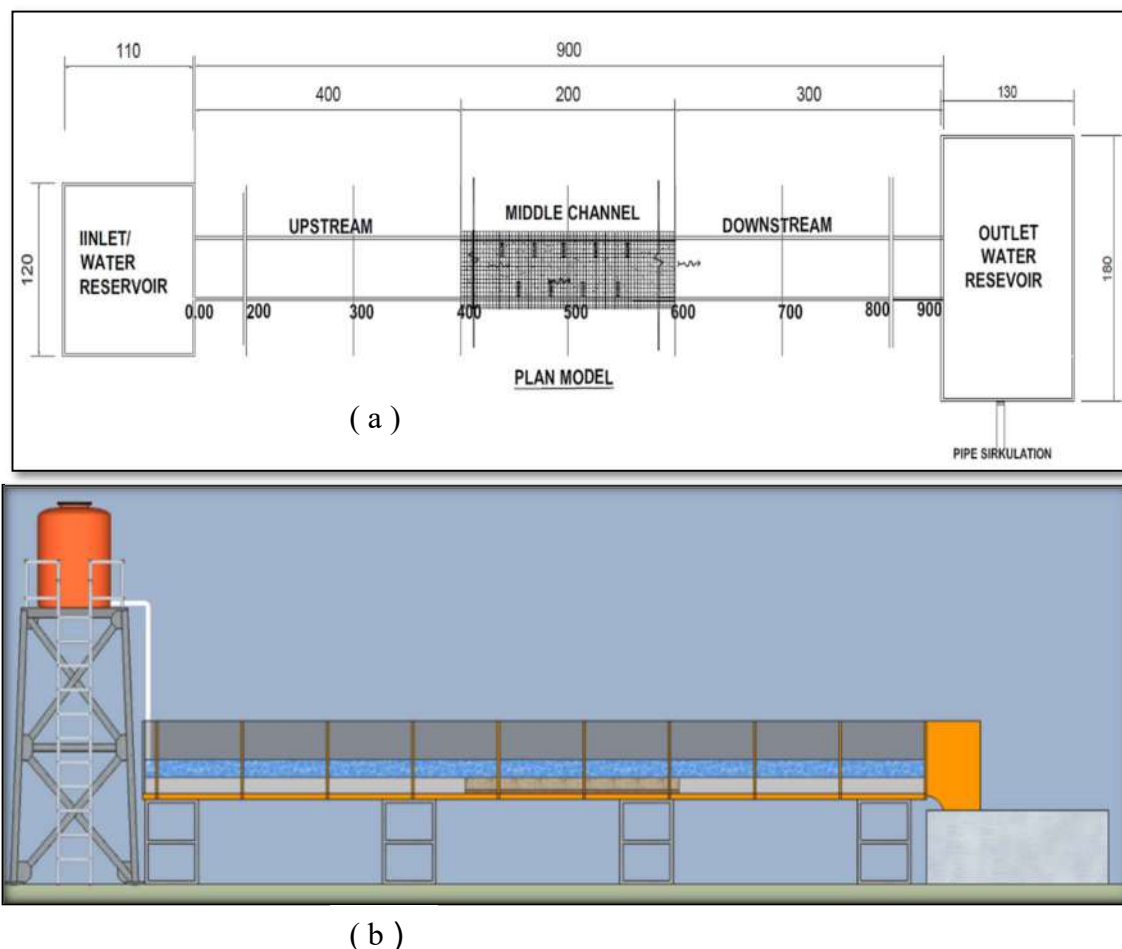
3.3.2 Peralatan

Pendukung utama kelancaran penelitian ini, ditentukan oleh ketersediaan alat dan bahan yang baik, agar diperoleh data yang akurat dan original (*natural*). Adapun alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah :

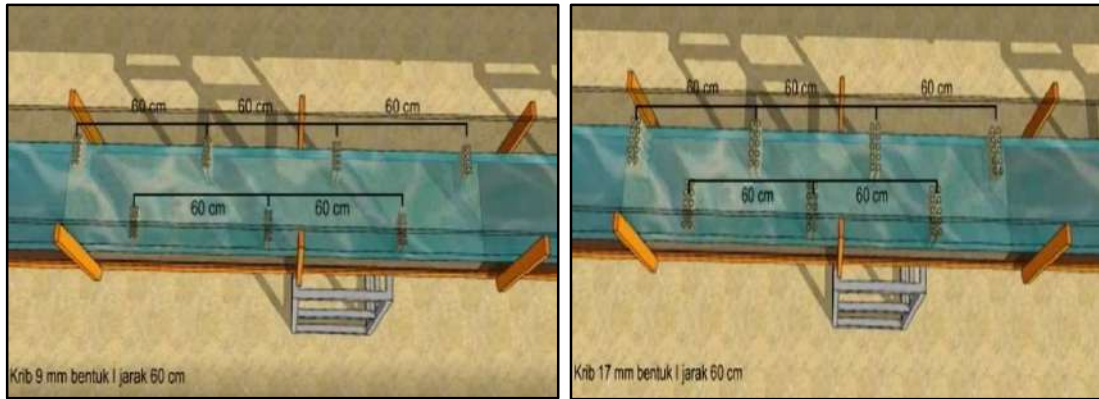
- a) Model *flum* yang berbentuk persegi panjang dengan panjang 900 cm, lebar 35 cm dan tinggi 45 cm
- b) Mesin pompa;
- c) Bak penampung dan bak sirkulasi air dengan kapasitas 12 m³;
- d) Kayu bulat dengan diameter (d_k) 17 mm, dan 9 mm sebagai krib permeabel;
- e) Kerapatan krib (k_k) digunakan 9 mm atau (1/10) mm, 12 mm atau (1/5) mm
- f) Tanah lempung-pasir sebagai jenis material dasar saluran (analisa saringan);
- g) Pipa PVC dia. 3” sebagai pipa sirkulasi air;
- h) Stop kran untuk mengatur debit aliran;
- i) Alat pengukur kecepatan aliran (*flow watch*) ;
- j) Alat stopwatch;

- k) Alat tulis;
- l) Papan tulis sebagai tempat pencatatan data penelitian;
- m) Tabel pencatatan kebutuhan data yang diperlukan;
- n) Benang sebagai acuan grid pengamatan perubahan formasi gerusan dasar saluran;
- o) Materan untuk mengukur tinggi muka air, volume pengerusan dan pengendapan;
- p) Kamera digital untuk merekam proses pengambilan data penelitian baik dalam bentuk foto maupun video.

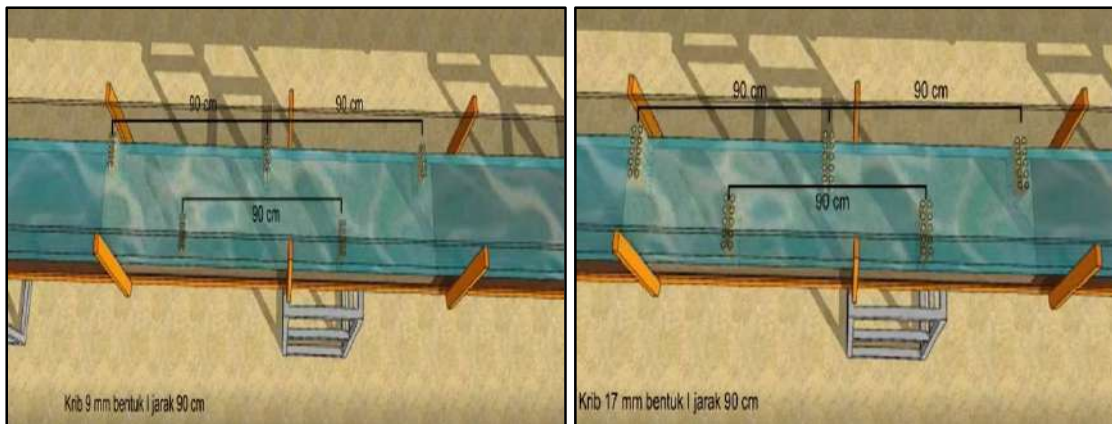
Rancangan model dibuat model fisik dan tujuan penelitian dengan rancangan model sebagai berikut :



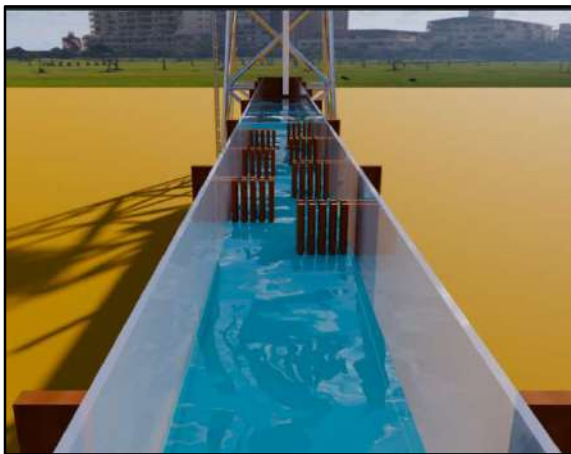
Gambar 18. (a) Denah dan (b) tampak samping model *flume*



Gambar 19. Denah Penempatan krib permebal pada model *flume* jarak krib 60 cm, kerapatan krib 9 mm dan diameter krib 17 mm



Gambar 20. Denah Penempatan krib permebal pada model *flume* jarak krib 90 cm, kerapatan krib 9 mm dan diameter krib 17 mm



Gambar 21. Potongan melintang penempatan krib dan model *flume*

3.3.3 Perencanaan Model

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental dengan tidak memfokuskan pada kasus sungai tertentu, sehingga dapat digeneral pada kondisi sungai ataupun saluran

yang mengalami gerusan dalam menggunakan bangunan krib permeable sebagai metode untuk mereduksi kecepatan dan gerusan.

Skala model disesuaikan dengan kondisi kapasitas pompa air dan geometric saluran penelitian. Penelitian eksperimental merupakan obsevasi dibawah kondisi buatan (*artificial condition*). Kondisi ini dibuat dan diatur oleh peneliti dengan perlakuan terhadap objek penelitian untuk menyelidiki ada tidaknya dan seberapa besar hubungan sebab akibat, dengan memberikan perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimen dan menyediakan control sebagai pembanding. Penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif dengan proses pengumpulan data utama dilakukan dengan menggunakan rangkain saluran dan krib permeabel sebagai model pengujian. Uraian secara detail data geometric penelitian ditunjukkan pada **Tabel 13**. berikut ini

Tabel 13. Data teknis penelitian simulasi model

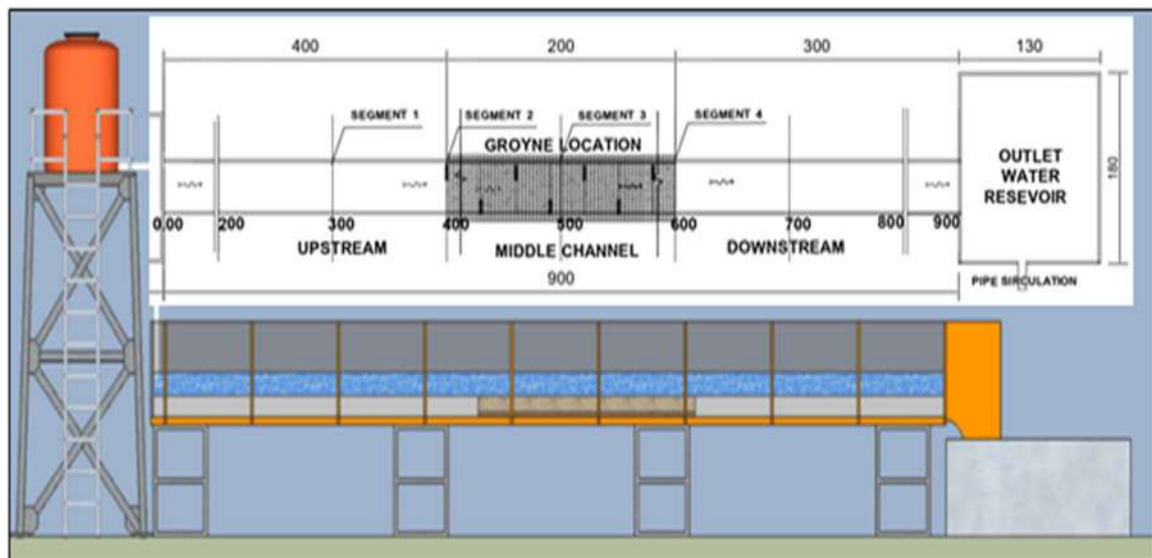
Tabel 10. Data teknik pemrosesan simulasir Model						
No	Bahan/Alat	Simbol	Dimensi			
			Model Laboratorium	Satuan	Prototipe	Satuan
A	Geometrik					
1	Tinggi saluran	h	45	cm	0.45	m
2	Lebar saluran	b	30.4	cm	3.04	m
3	Panjang saluran	L	900	cm	90	m
4	Kemiringan dasar saluran	S ₁	0.5	cm	0.05	m
		S ₂	1.7	cm	0.17	m
		S ₃	2.4	cm	0.24	m
5	Diamater krib	d _{k1}	0.9	cm	0.09	m
		d _{k1}	1.7	cm	0.17	m
6	Tinggi krib	h _k	15	cm	1.5	m
7	Panjang krib	p _k	10	cm	1.00	m
8	Kerapatan krib	k _{k1}	0.9	cm	0.09	m
		k _{k2}	1.2	cm	0.12	m
9	Jarak krib	L _{k1}	60	cm	0.6	m
		L _{k2}	90	cm	0.9	m
10	Diamater butiran tanah/pasir	d _{z=35}	0.239	mm	0.0235	cm
		d _{z=50}	0.265	mm	0.0285	cm
		d _{z=90}	0.432	mm	0.0432	cm
11	Ketebalan dasar tanah/pasir	t	15	cm	1.5	m
B	Kinematik					
1	Debit pengaliran	Q ₁	10.3270	lt/dt	0.01033	m ³ /dt
	Debit pengaliran	Q ₂	12.0590	lt/dt	0.01206	m ³ /dt
	Debit pengaliran	Q ₃	13.0712	lt/dt	0.01307	m ³ /dt

Tabel 13. Data teknis penelitian simulasi model (lanjutan)

No	Bahan/Alat	Simbol	Dimensi			
			Model Laboratorium	Satuan	Prototipe	Satuan
2	Gravitasi bumi	g	9.810	m/dt ²	9.81	m/dt ²
3	Waktu pengaliran	T	75	menit	75	menit
C Dinamik						
1	Berat jenis air	γ_w	0.998	Kg/m ³	0.998	Kg/m ³
2	Berat jenis sedimen	γ_s	2,649	Kg/cm ³	2,649	Kg/cm ³

3.3.4 Lokasi pengukuran

Pengujian dilakukan dengan menggunakan flum saluran, lebar (b) =35 cm, tinggi (h)= 45 cm, panjang (p)=900 cm dan dilengkapi dengan pompa, reservoir *inlet* serta *outlet*. Variasi pengujian krib permeabel variasi antara lain debit pengaliran (Q) tiga variasi, kemiringan dasar saluran (S_o) tiga variasi, kerapatan krib ($k_{k1}=0.09$ cm, $k_{k1}=0.12$ cm) dua variasi, Jarak krib ($L_{k1}= 60$ cm, $L_{k1}= 90$ cm) dua variasi, diameter krib ($d_{k1}= 0.09$, $d_{k1}= 0.17$ cm) dua variasi. Penempatan krib permeabel di pertengahan saluran dimulai pada jarak 400 cm sampai dengan 600 cm dengan metode siksak di pinggir kiri dan kanan saluran. Segmen pengukuran kecepatan aliran dilakukan empat segmen dimulai pada jarak 350 cm sebelum krib (segmen 1), 450 cm area krib (segmen 2), 550 cm area krib (segmen 3) dan jarak 650 cm sesudah krib (segmen 4) seperti dijelaskan pada **Gambar 22**, di bawah ini.



Gambar 22. Denah dan profil memanjang segmen titik pengukuran kecepatan aliran

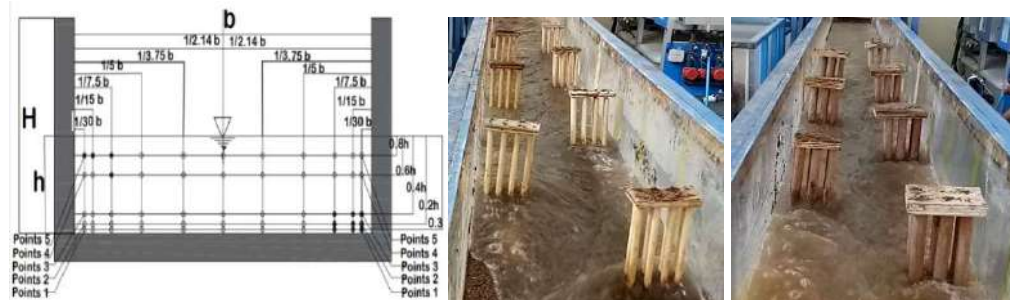


Gambar 23. Media uji tanpa krib dengan sedimen (TKDS)



Gambar 24. Media uji dengan krib permeabel dengan sedimen (DKDS)

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan pada lima titik arah vertical dengan membagi berdasarkan pada kedalaman aliran (h) yaitu; 0,3, 0,2 h , 0,4 h , 0,6 h , dan 0,8 h sedangkan arah horizontal pada sebelas titik dengan membagi berdasarkan lebar saluran (b) yaitu; $1/30 b$, $1/15 b$, $1/7,5 b$, $1/5 b$, $1/3,75 b$, $1/2,14 b$. Dijelaskan pada **Gambar 25** (a) di bawah ini. Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan menggunakan alat current meter. Kemudian dianalisis untuk diperoleh kecepatan rata-rata pada setiap variasi penelitian sejumlah 72 kali running. **Gambar 25** (b) diameter krib ($a_{k1} = 0.09$ cm, jarak krib ($L_{k1} = 60$ cm) sedangkan Gambar 25 (c) diameter krib ($a_{k1} = 0.17$ cm, jarak krib ($L_{k2} = 90$ cm).



Gambar 25. (a) Profil melintang segmen titik pengukuran kecepatan aliran, (b) Diameter krib ($d_{k1} = 0.09$ cm, jarak krib ($L_{k1} = 60$ cm), (c) diameter krib ($d_{k2} = 0.17$ cm, jarak krib ($L_{k2} = 90$ cm) dan kerapatan krib permeabel ($k_{k1} = 0.9$ cm, $k_{k2} = 1.2$ cm)

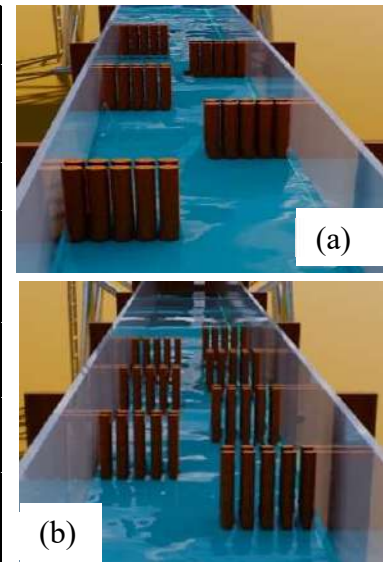


Gambar 26. Media uji dengan tanpa krib tanpa sedimen (DKTS) dan dengan krib tanpa sedimen (DSTS)

Sedangkan variable bahan dan ukurannya yang digunakan seperti pada **Table 14** dan **Gambar 27** (a) Diameter krib ($d_{k1} = 0.09$ cm, jarak krib ($L_{k1} = 60$ cm), kerapatan krib ($k_{k1} = 0.9$ cm, serta **Gambar 27** (b) diameter krib ($d_{k2} = 0.17$ cm, jarak krib ($L_{k2} = 90$ cm), dan kerapatan krib permeabel ($k_{k2} = 1.2$ cm) di bawah ini.

Tabel 14. Dimensi model krib permeabel

No	Bahan	Simbol	Ukuran	Satuan
1	Tinggi saluran	h	45	cm
2	Lebar saluran	b	30,5	cm
3	Panjang saluran	L	900	cm
4	Kemiringan dasar saluran	S_1	0.5	cm
		S_2	1.7	cm
		S_3	2.4	cm
5	Diameter krib	d_{k1}	0.9	cm
		d_{k2}	1.7	cm
6	Kerapatan krib	k_{k1}	0.9	cm
		k_{k2}	1.2	cm
7	Jarak krib	L_{k1}	60	cm
		L_{k2}	90	cm
8.	Panjang krib	p_k	10	cm
9	Tinggi krib	h_k	15	cm



Gambar 27. (a) Diameter krib ($d_{k1} = 0.09$ cm, jarak krib ($L_{k1} = 60$ cm) dan kerapatan krib ($k_{k1} = 0.9$ cm), (b) diameter krib ($a_{k1} = 0.17$ cm, jarak krib ($L_{k2} = 90$ cm) dan kerapatan krib permeabel ($k_{k2} = 1.2$ cm)

3.4 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa variable untuk menenuhi rumusan dan tujuan penelitian, maka variabel-variabel yang diperlukan adalah variable indenpenden (bebas)

yaitu; Debit aliran (Q), kerapatan krib (k_k), Jarak krib (L_k), diameter krib (d_k , mm), diameter butiran tanah (d_z mm), ketebalan tanah saluran (t_s , cm) dan kemiringan saluran (S_o , %) sedangkan variable dependen (terikat) yaitu; kecepatan aliran (u), tinggi aliran (h , cm), volume gerusan (V_s , kg), pola gerusan (p_g), suhu pengaliran (T). Variasi pengujian dan kebutuhan data yang diperlukan dalam penelitian dapat dilihat pada matrik kebutuhan data **Tabel 15** di bawah ini.

Tabel 15. Data variasi penelitian

No.	Jenis Variasi	Seg	Ked. aliran (h) (m)	Kec. aliran (u) (cm/dt)	Volume gerusan (V_s) (kg)	Pola gerusan	Suhu Aliran (T) °C
1	TKTSQS	4	36	2160			9
2	TKDSQS	4	36	2160	9	9	9
3	DKDSQSL _{k₁} k _{k1} d _{k1}	4	36	2160	9	9	9
4	DKDSQSL _{k₂} k _{k1} d _{k1}	4	36	2160	9	9	9
5	DKDSQSL _{k₁} k _{k1} d _{k2}	4	36	2160	9	9	9
6	DKDSQSL _{k₂} k _{k1} d _{k2}	4	36	2160	9	9	9
7	DKDSQSL _{k₁} k _{k2} d _{k1}	4	36	2160	9	9	9
8	DKDSQSL _{k₂} k _{k2} d _{k1}	4	36	2160	9	9	9
9	DKDSQSL _{k₁} k _{k2} d _{k2}	4	36	2160	9	9	9
10	DKDSQSL _{k₂} k _{k2} d _{k2}	4	36	2160	9	9	9
	Jumlah		360	21600	81	81	90

Pengujian dilakukan sebanyak 9 kali untuk model tanpa krib tanpa sedimen (TKTS) menghasilkan data kedalaman aliran 36 data, kecepatan aliran ($36 \times 5 \times 12 = 2160$) data, dan suhu pengaliran 9. Pengujian dilakukan sebanyak 9 kali untuk model tanpa krib dengan sedimen (TKDS) dengan menghasilkan data kedalaman aliran 36 data, kecepatan aliran ($36 \times 5 \times 12 = 2160$) data, volume gerusan 9 data, suhu pengaliran 9 data, data perubahan gerusan sebanyak 9 data. Pengujian dilakukan sebanyak 72 kali untuk model dengan krib dengan sedimen (DKDS) dengan menghasilkan data kedalaman aliran ($36 \times 8 = 288$) data, kecepatan aliran ($288 \times 5 \times 12 = 17280$) data, volume gerusan 72 data, suhu pengaliran 72 data, data perubahan gerusan sebanyak 72 data. Waktu yang digunakan dalam penelitian adalah 75 menit.

3.5 Analisis Penelitian

Analisis validasi pengukuran kecepatan digunakan pendekatan persamaan empiris yaitu; Manning $u = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2}$, Chezy $u = C \sqrt{R \cdot I}$ dan Strickler $u = k R^{2/3} S_o^{1/2}$.

Analisis penelitian menggunakan beberapa pendekatan persamaan empiris antara lain dengan karakteristik aliran melewati sebuah benda angka *Reynolds* $Re = \frac{\rho_w \cdot u \cdot L}{\mu}$

Pendekatan analisis empiris digunakan untuk mengetahui pengaruh pergerakan sedimen dasar digunakan persamaan kecepatan geser $u^* = \sqrt{g \cdot h \cdot S}$, dan tegangan geser $\tau_o = \rho_w \cdot g \cdot h \cdot S_o$. serta tegangan geser kritis $\tau_{c*} = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho_w) d_{50}}$ atau $\tau_c = \frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{\mu}$

Analisis validasi volume angkutan sedimen dasar penelitian menggunakan beberapa pendekatan persamaan empiris yaitu persamaan Meyer Peter $q_b = \phi \sqrt{\left[\frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \right]} x g D_{50}^3$ dan Einstein $q_b = \phi \sqrt{\left[\frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \right]} x g D_{35}^3$

Sedangkan pendekatan persamaan empiris untuk memvalidasi gaya hambat (F_D) $F_D = \frac{1}{2} \rho U^2 C_D A$ (Muh. Saleh Pallu) dan koefisien gesek digunakan persamaan $C_D = \frac{h}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$

Variable bebas sebagai variable mempengaruhi adalah:

- 1) Debit pengaliran (Q) dengan symbol dimensi L^3/T^1 ,
- 2) Kerapatan krib (k_k), jarak krib (L_k) dan diameter krib (d_k) dengan symbol dimensi L, serta kemiringan saluran (S_o) dengan symbol dimensi L,
- 3) Diameter butiran sedimen (tanah+pasir) (d_z) dengan symbol dimensi L
- 4) Waktu pengaliran (T) dalam satuan dengan symbol dimensi T

Sedangkan variable terikat sebagai varibel yang dipengaruhi antara lain :

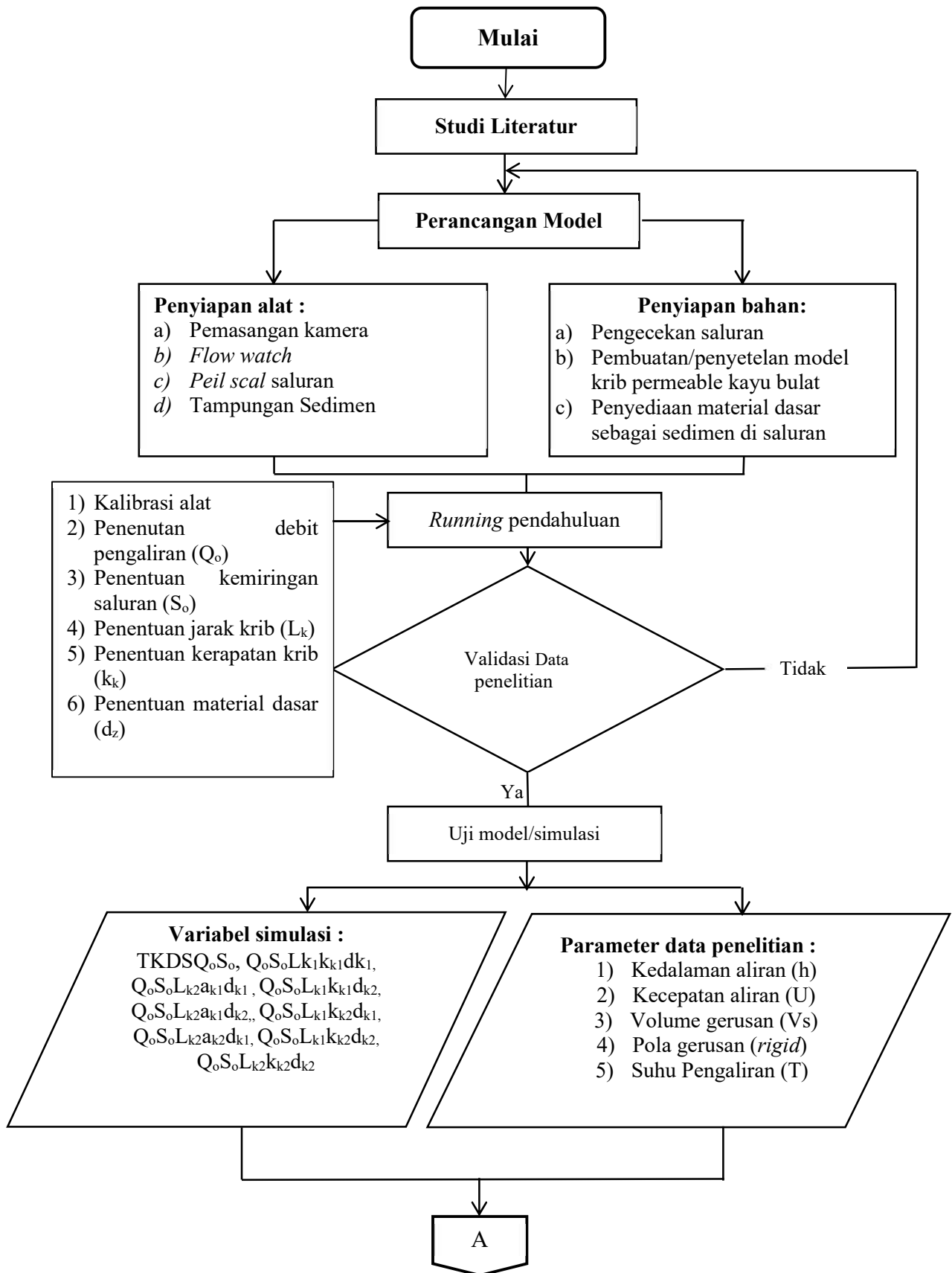
- 1) Kecepatan aliran (u) dalam satuan cm/dt dengan symbol LT^1
- 2) Kedalaman aliran (h) dalam satuan (cm) dengan symbol L,
- 3) Volume angkutan sedimen dalam satuan (q_b) dalam satuan cm^3/hr dengan symbol L^3T^{-1} .

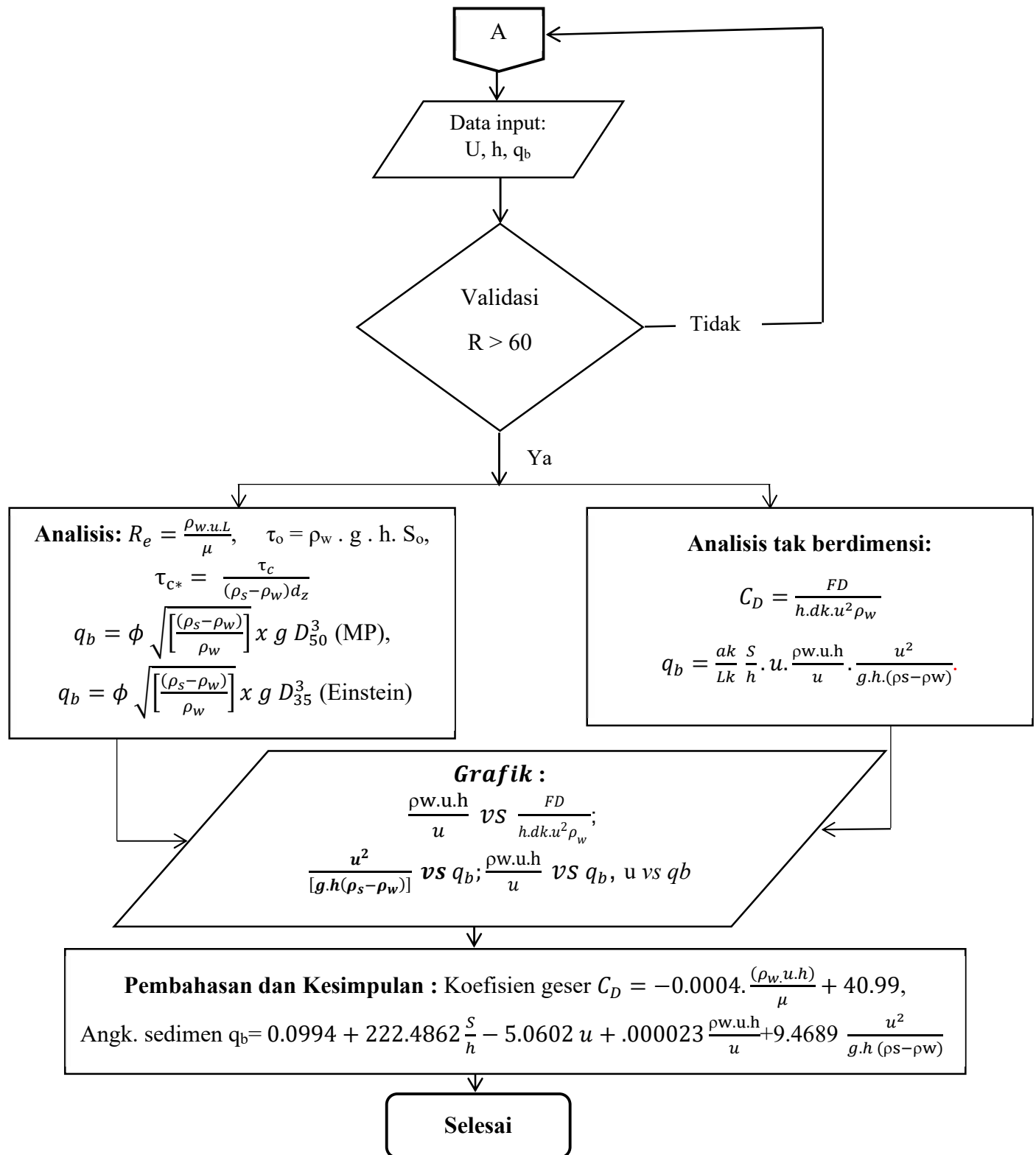
Tabel 16. Matrik Kebutuhan data Penelitian

Debit (cm ³ /dt)	Diameter size tanah (d _z , mm)	Kemiringan dasar saluran (S, %)	Diameter Krib/ <i>groyne</i> (d _k , mm)	Panjang Krib (L _k , cm)	Kerapatan Krib (k _k , cm)	Ketinggian Aliran (h, cm)	Kecepatan aliran (u, cm/dt)	Volume Gerusan (V _s , kg)	Suhu Aliran (T, °)
Q₁ Q₂ Q₃	d_z	S₁ S₂ S₃	d_{k1}	L_{k1}	k_{k1} k_{k2}	h₁ h₂ h₃ h₄ h₅ h₆	u₁ u₂ u₃ u₄ u₅ u₆	V_{s1} V_{s2} V_{s3} V_{s4} V_{s5} V_{s6}	T₁ T₂ T₃ T₄ T₅ T₆
Q₁ Q₂ Q₃	d_z	S₁ S₂ S₃	d_{k1}	L_{k2}	k_{k1} k_{k2}	h₇ h₈ h₉ h₁₀ h₁₁ h₁₂	u₇ u₈ u₉ u₁₀ u₁₁ u₁₂	V_{s7} V_{s8} V_{s9} V_{s10} V_{s11} V_{s12}	T₇ T₈ T₉ T₁₀ T₁₁ T₁₂
9 X 2 X 2 = 36 RUNNING									

Tabel 17. Matrik kebutuhan data penelitian

Debit (cm^3/dt)	Diameter size tanah (d_z , mm)	Kemiringan dasar saluran (S, %)	Diameter Krib/ <i>groyne</i> (d_k , mm)	Panjang Krib (L_k , cm)	Kerapatan Krib (k_k , cm)	Ketinggian Aliran (h, cm)	Kecepatan aliran (u, cm/dt)	Volume Gerusan (V_s , kg)	Suhu Aliran (T , $^{\circ}\text{C}$)
Q₁ Q₂ Q₃	d_z	S₁ S₂ S₃	d_{k2}	L_{k1}	k_{k1} k_{k2}	h₂₅ h₂₆ h₂₇ h₂₈ h₂₉ h₃₀	u₂₅ u₂₆ u₂₇ u₂₈ u₂₉ u₃₀	V_{s25} V_{s26} V_{s27} V_{s28} V_{s29} V_{s30}	T₂₅ T₂₆ T₂₇ T₂₈ T₂₉ T₃₀
Q₁ Q₂ Q₃	d_z	S₁ S₂ S₃	d_{k2}	L_{k2}	k_{k1} k_{k2}	h₃₁ h₃₂ h₃₃ h₃₄ h₃₅ h₃₆	u₃₁ u₃₂ u₃₃ u₃₄ u₃₅ u₃₆	V_{s31} V_{s32} V_{s33} V_{s34} V_{s35} V_{s36}	T₃₁ T₃₂ T₃₃ T₃₄ T₃₅ T₃₆
9 X 2 X 2 = 36 RUNNING									





Gambar 28. Bagan alir penelitian

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian eksperimental ini dilakukan sebagai upaya menguji variable yang mempengaruhi yaitu independen (bebas) dan dependen (terikat) variable yang dipengaruhi sebagai rangkaian mendapatkan data yang valid untuk menjawab rumusan penelitian. Variasi-variasi pengujian cukup penting sehingga diperoleh data hubungan pengaruh antara variable yang lainnya. Analisis data yang digunakan yaitu analisis deskriptif, hubungan bilangan yang berpengaruh dan hubungan bilangan tak berdimensi.

4.1 Parameter Utama Data penelitian

4.1.1 Media tanah pasir sebagai media Sedimen Uji

Media tanah pasir yang digunakan sebagai material sedimen dalam pengujian ini diambil dari sungai Maros dengan karakteristik material dengan ukuran butiran pasir – tanah, $d_{10} = 0.161$ mm, $d_{35} = 0.239$ mm, $d_{50} = 0.265$ mm, $d_{60} = 0.374$ mm dan $d_{90} = 0.432$ mm dengan berat jenis butiran tanah/pasir (γ_s) 2.649 gr/cm^3 . Hasil penadahan sedimen tanah pasir tergelontor yang dilakukan pada saat pengujian dibagi menjadi tiga bagian kategori yaitu tanah pasir kasar, berat jenis (γ_s) 2.643 gr/cm^3 , tanah pasir sedang berat jenis (γ_s) 2.652 gr/cm^3 dan tanah pasir halus (γ_s) 2.660 gr/cm^3 . Hasil analisis material tanah pasir yang di uji Laboratorium Mekanika tanah Universitas Hasanuddin Gowa terlampir pada Lampiran 1, Lampiran 2 dan Lampiran 3.

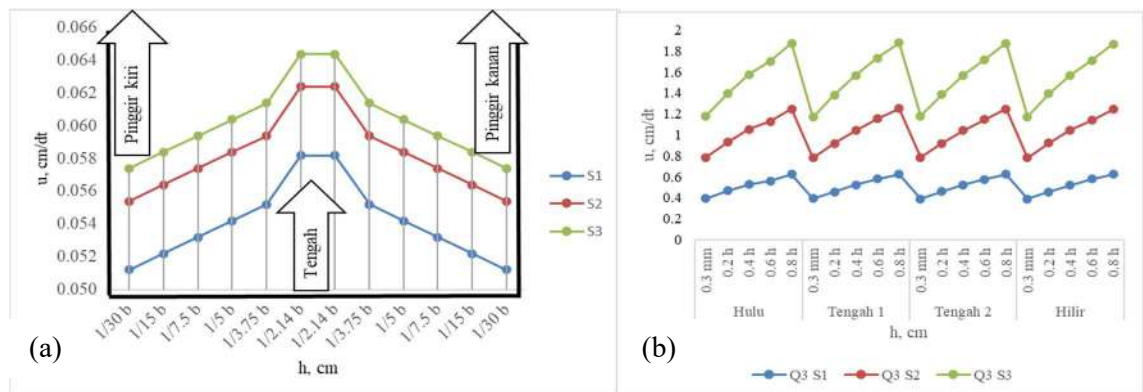
4.1.2 Variable Data penelitian

Parameter penelitian ini menggunakan tiga variasi debit pengaliran yaitu; debit pengaliran pertama (Q_1) = 10.3270 lt/dt , debit pengaliran kedua (Q_2) = 12.0590 lt/dt dan debit pengaliran ketiga (Q_3) = 13.0712 lt/dt , kemudian ketiga jenis debit ini divariasi pada kemiringan dasar saluran dengan tiga jenis yaitu kemiringan saluran dasar pertama (S_1) = 0.00056% (0.5 cm), kemiringan saluran dasar kedua (S_2) = 0.00189% (1.7 cm) dan kemiringan saluran dasar ketiga (S_3) = 0.00267% (2.4 cm), dengan diameter krib ($d_{k1} = 9 \text{ mm}$, $d_{k2} = 17 \text{ mm}$) dan kerapatan krib ($k_{k1} = 9 \text{ mm}$, $k_{k2} = 12 \text{ mm}$) serta jarak krib ($L_{k1} = 60 \text{ cm}$ dan $L_{k2} = 90 \text{ cm}$) sedangkan panjang krib (p) 25 cm . Variable bebas ini menjadi dasar untuk mendesain variasi model sesuai dengan kebutuhan yang dituangkan dalam rumusan

masalah sebelumnya. Variasi pengujian yang dilakukan dibagi dalam tiga tahapan yaitu; variasi dengan tanpa krib tanpa sedimen (TKTS) sebanyak 9 kali running, variasi tanpa krib dengan sedimen (TKDS) sebanyak 9 kali running dan variasi dengan krib dengan sedimen (DKDS) dan variasi merupakan variasi utama penelitian ini sebanyak delapan ($DKDSQSL_{k_1k_1d_{k_1}}$, $DKDSQSL_{k_2k_1d_{k_1}}$, $DKDSQSL_{k_1k_2d_{k_1}}$, $DKDSQSL_{k_2k_2d_{k_1}}$, $DKDSQSL_{k_1k_1d_{k_2}}$, $DKDSQSL_{k_2k_1d_{k_2}}$, $DKDSQSL_{k_1k_2d_{k_2}}$, $DKDSQSL_{k_2k_2d_{k_2}}$) variasi model dengan running sebanyak 72 kali dengan waktu pengujian penelitian (T) 75 menit. Pengujian ini menghasilkan data kedalaman aliran (h) 360 buah, data kecepatan aliran (u) 21600 buah, volume gerusan (Vs) 81 data, pola gerusan (pg) 81 buah dan suhu pengaliran (t) 90 buah.

4.1.3 Validasi Pengukuran Kecepatan Aliran dengan Kondisi Saluran Tanpa Krib Dengan Sedimen (TKDS)

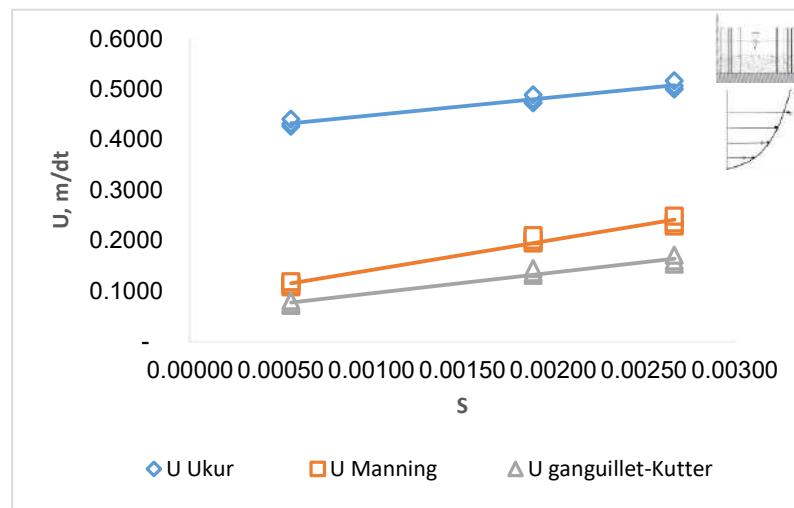
Distribusi kecepatan aliran terjadi pada saluran terbuka dipengaruhi oleh kemiringan saluran, geometric, kekasaran dasar dan dinding saluran. Pola distribusi kecepatan aliran pada pengukuran kecepatan aliran (u), dibagi berdasarkan lebar saluran (b) menjadi sebelas bagian arah melintang saluran pada **Gambar 29 (a)**, **Gambar 29 (b)** pengukuran kecepatan aliran berdasarkan kedalaman aliran (h) arah vertikal sebanyak lima bagian dan titik pengukuran kecepatan aliran (u) sebanyak empat titik arah memanjang saluran (hulu sebelum ada krib dan sedimen, tengah 1 di belakang krib awal (sedimen), tengah 2 di belakang krib kedua (sedimen), dan hilir sesudah krib ketiga (sedimen), berikut ini.



Gambar 29. Kedalaman aliran (h) terhadap kecepatan aliran (u) pada variasi debit aliran (Q_1) dan kemiringan dasar saluran (S). (a) Pengukuran kecepatan aliran arah melintang saluran sebelas bagian berdasarkan lebar saluran (b), (b) Pengukuran kecepatan aliran lima titik berdasarkan kedalaman aliran (h) dan lokasi pengukuran sebanyak empat.

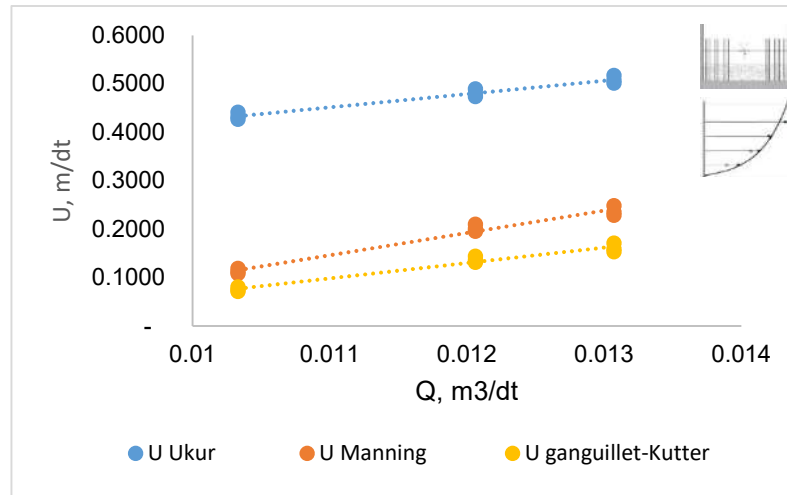
Pengukuran kecepatan aliran arah horizontal berdasarkan lebar saluran dengan dua belas bagian, pada **Gambar 29 (a)** menunjukkan bagian kiri dan kanan saluran terlihat kecepatan aliran menurun, sedangkan pada bagian tengah saluran menunjukkan kecepatan aliran cenderung meningkat. Hal ini dipengaruhi oleh factor kekasaran dinding dan dasar saluran. Sementara pada **Gambar 29 (b)** pengukuran kecepatan aliran arah vertical berdasarkan kedalaman aliran menjadi lima bagian, dimana menunjukkan bahwa pada bagian dasar saluran kecepatan aliran menurun, sedangkan pada bagian atas saluran menunjukkan kecepatan aliran cenderung meningkat. Hal ini dipengaruhi oleh factor kekasaran dasar dan dinding saluran.

Pengukuran kecepatan aliran pada penelitian ini divalidasi menggunakan beberapa persamaan empiris yang umum digunakan pada saluran terbuka yaitu persamaan Manning dan Gaungillet-Kutter. Hal ini ditunjukkan pada **Gambar 30** dengan hubungan kemiringan dasar saluran dengan kecepatan aliran. Sedangkan **Gambar 31** hubungan debit aliran (Q) terhadap kecepatan aliran (u).



Gambar 30. Kemiringan dasar saluran (S) dengan Kecepatan Aliran (u)

Hasil pengukuran dengan perhitungan persamaan empiris (Manning, dan gaungillet-Kutter) kecepatan aliran menunjukkan perubahan tren yang sama, baik pada **Gambar 30** dan **Gambar 31** dengan hubungan debit pengaliran dengan kecepatan aliran, serta kecepatan aliran, mempunyai tren yang sama sehingga dapat dipahami bahwa hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan data yang relevan dengan mempunyai tren perubahan yang sama dengan hasil pengukuran dan metode empiris.



Gambar 31. Debit Pengaliran (Q) dengan Kecepatan Aliran (u)

4.2 Perubahan Karakteristik aliran akibat krib permeable

Karakteristik aliran pada saluran terbuka, umumnya menggunakan pendekatan persamaan Bilangan *Raynolds* (Re) sebagai dasar untuk dapat mengklasifikasi karakteristik aliran yang terjadi pada suatu pengaliran. Hasil analisis karakteristik aliran pada penelitian ini dengan skenario pengujian tanpa krib dengan krib (TKDS) diuraikan pada **Tabel 18**.

Tabel 18. Karakteristik Aliran dengan metode Bilangan *Reynolds* (Re) pada pegujian Tanpa Krib dengan Sedimen (TKDS)

Skenario	Q (m³/dt)	h, m	U, m/dt	R, m	S, %	Re	Sifat Aliran
Q ₁ S ₁	0.0103	0.078	0.4266	0.0515	5.6 10 ⁻³	24551.87	Turbulen
Q ₁ S ₂	0.0103	0.073	0.4734	0.0495	18.9 10 ⁻³	26315.23	Turbulen
Q ₁ S ₃	0.0103	0.070	0.5048	0.0481	26.6 10 ⁻³	27273.66	Turbulen
Q ₂ S ₁	0.0121	0.084	0.4315	0.0542	5.6 10 ⁻³	26341.34	Turbulen
Q ₂ S ₂	0.0121	0.078	0.4793	0.0515	18.9 10 ⁻³	28139.85	Turbulen
Q ₂ S ₃	0.0121	0.074	0.5069	0.0498	26.6 10 ⁻³	28775.86	Turbulen
Q ₃ S ₁	0.0131	0.095	0.4410	0.0586	5.6 10 ⁻³	29207.86	Turbulen
Q ₃ S ₂	0.0131	0.086	0.4890	0.0551	18.9 10 ⁻³	30712.53	Turbulen
Q ₃ S ₃	0.0131	0.085	0.5168	0.0548	26.6 10 ⁻³	32253.13	Turbulen

Tabel 18 menunjukkan perubahan nilai Bilangan *Reynolds* aliran pada kondisi pengujian tanpa krib dengan sedimen (TKDS) dan **Tabel 19** untuk karakteristik aliran dengan krib dengan sedimen (DKDS) tidak signifikan mempengaruhi perubahan sifat aliran sehingga tetap karakteristiknya adalah turbulen (Golpira, Koehler, et al.,

2020),(Golpira, Koehler, et al., 2020), (Nyantekyi-Kwakye et al., 2019). Namun peningkatan resistensi kecepatan aliran akibat bangunan krib yang menghambat aliran secara tiba-tiba menyebabkan turbulensi aliran cenderung meningkat, sehingga menyebabkan peningkatan gerusan dasar di sekitar bangunan krib.

Tabel 19. Karakteristik Aliran dengan metode Bilangan *Reynolds* (Re) pada pegujian Dengan Krib Dengan Sedimen (DKDS)

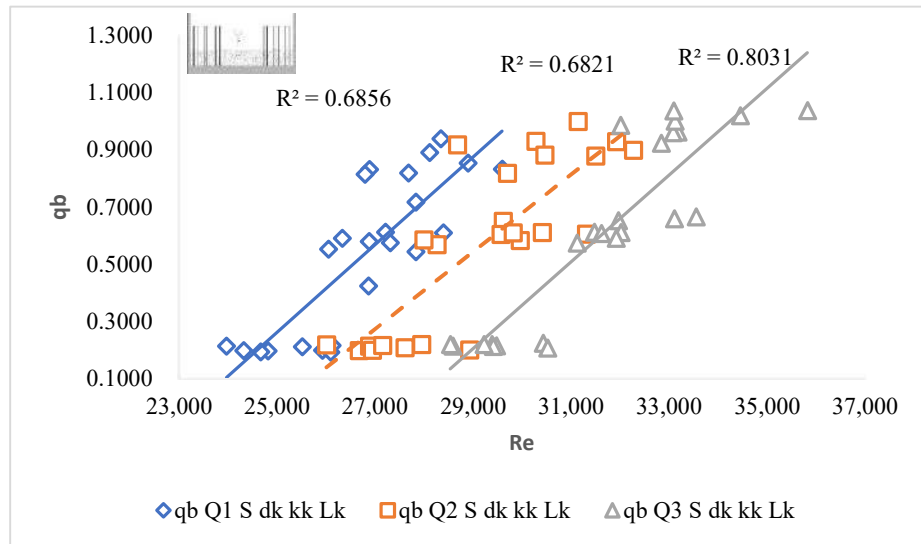
Skenario	Q (m ³ /dt)	S, %	h, m	u, m/dt	Re	Sifat Aliran
Q ₁ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0103	5.6 10 ⁻³	0.085	0.3884	24809.03	Turbulen
Q ₂ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0121	5.6 10 ⁻³	0.093	0.3951	26674.59	Turbulen
Q ₃ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0131	5.6 10 ⁻³	0.106	0.4001	28587.02	Turbulen
Q ₁ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0103	18.9 10 ⁻³	0.082	0.4308	26865.27	Turbulen
Q ₂ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0121	18.9 10 ⁻³	0.088	0.4375	28262.32	Turbulen
Q ₃ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0131	18.9 10 ⁻³	0.103	0.4460	31472.36	Turbulen
Q ₁ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0103	26.6 10 ⁻³	0.079	0.4566	27829.94.	Turbulen
Q ₂ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0121	26.6 10 ⁻³	0.086	0.4658	29693.11	Turbulen
Q ₃ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0131	26.6 10 ⁻³	0.100	0.4721	32821.88	Turbulen
Q ₁ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0103	5.6 10 ⁻³	0.089	0.3909	25921.50	Turbulen
Q ₂ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0121	5.6 10 ⁻³	0.092	0.3962	26884.34	Turbulen
Q ₃ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0131	5.6 10 ⁻³	0.105	0.4014	29384.27	Turbulen
Q ₁ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0103	18.9 10 ⁻³	0.081	0.4349	27210.53	Turbulen
Q ₂ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0121	18.9 10 ⁻³	0.090	0.4414	29610.75	Turbulen
Q ₃ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0131	18.9 10 ⁻³	0.100	0.4773	33173.09	Turbulen
Q ₂ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0121	26.6 10 ⁻³	0.085	0.4683	30275.59	Turbulen
Q ₃ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0131	26.6 10 ⁻³	0.096	0.4773	33173.09	Turbulen
Q ₁ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0103	5.6 10 ⁻³	0.087	0.3892	24314.08	Turbulen
Q ₂ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0121	5.6 10 ⁻³	0.098	0.3926	27603.96	Turbulen
Q ₃ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0131	5.6 10 ⁻³	0.107	0.3963	29472.28	Turbulen
Q ₁ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0103	18.9 10 ⁻³	0.078	0.4307	26329.41	Turbulen
Q ₂ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0121	18.9 10 ⁻³	0.094	0.4392	29959.53	Turbulen
Q ₃ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0131	18.9 10 ⁻³	0.102	0.4433	32013.59	Turbulen
Q ₁ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0103	26.6 10 ⁻³	0.075	0.4539	26881.78	Turbulen
Q ₂ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0121	26.6 10 ⁻³	0.092	0.4651	31498.38	Turbulen
Q ₃ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0131	26.6 10 ⁻³	0.096	0.4721	33078.24	Turbulen
Q ₁ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0103	5.6 10 ⁻³	0.081	0.3908	23965.89	Turbulen
Q ₂ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0121	5.6 10 ⁻³	0.090	0.3945	26007.70	Turbulen
Q ₃ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0131	5.6 10 ⁻³	0.100	0.3988	28532.36	Turbulen
Q ₁ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0103	18.9 10 ⁻³	0.078	0.4365	26047.76	Turbulen
Q ₂ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0121	18.9 10 ⁻³	0.086	0.4396	27990.70	Turbulen
Q ₃ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0131	18.9 10 ⁻³	0.097	0.4448	31121.39	Turbulen
Q ₁ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0103	26.6 10 ⁻³	0.072	0.4613	26789.67	Turbulen

Tabel 19. Karakteristik Aliran dengan metode Bilangan *Reynolds* (Re) pada pegujian Dengan Krib Dengan Sedimen (DKDS) (lanjutan)

Skenario	Q (m ³ /dt)	S, %	h, m	u, m/dt	Re	Sifat Aliran
Q ₂ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0121	26.6 10 ⁻³	0.083	0.4663	28673.92	Turbulen
Q ₃ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0131	26.6 10 ⁻³	0.091	0.4739	32005.51	Turbulen
Q ₁ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0103	5.6 10 ⁻³	0.091	0.3983	26119.07	Turbulen
Q ₂ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0121	5.6 10 ⁻³	0.103	0.4024	27949.07	Turbulen
Q ₃ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0131	5.6 10 ⁻³	0.113	0.4081	30429.21	Turbulen
Q ₁ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0103	18.9 10 ⁻³	0.087	0.4433	28894.38	Turbulen
Q ₂ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0121	18.9 10 ⁻³	0.097	0.4493	30405.78	Turbulen
Q ₃ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0131	18.9 10 ⁻³	0.111	0.4547	33550.04	Turbulen
Q ₁ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0103	26.6 10 ⁻³	0.085	0.4693	28894.38	Turbulen
Q ₂ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0121	26.6 10 ⁻³	0.095	0.4771	31920.21	Turbulen
Q ₃ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0131	26.6 10 ⁻³	0.108	0.4831	35817.30	Turbulen
Q ₁ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0103	5.6 10 ⁻³	0.083	0.4077	24661.55	Turbulen
Q ₂ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0121	5.6 10 ⁻³	0.093	0.4111	26940.06	Turbulen
Q ₃ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0131	5.6 10 ⁻³	0.105	0.4136	30457.75	Turbulen
Q ₁ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0103	18.9 10 ⁻³	0.081	0.4522	26877.22	Turbulen
Q ₂ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0121	18.9 10 ⁻³	0.091	0.4567	29561.94	Turbulen
Q ₃ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0131	18.9 10 ⁻³	0.099	0.4606	31613.43	Turbulen
Q ₁ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0103	26.6 10 ⁻³	0.077	0.4779	27681.32	Turbulen
Q ₂ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0121	26.6 10 ⁻³	0.087	0.4843	30457.75	Turbulen
Q ₃ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0131	26.6 10 ⁻³	0.097	0.4873	33114.90	Turbulen
Q ₁ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0103	5.6 10 ⁻³	0.088	0.4029	26091.33	Turbulen
Q ₂ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0121	5.6 10 ⁻³	0.100	0.4062	28922.98	Turbulen
Q ₃ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0131	5.6 10 ⁻³	0.107	0.4097	30521.07	Turbulen
Q ₁ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0103	18.9 10 ⁻³	0.081	0.4474	27827.45	Turbulen
Q ₂ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0121	18.9 10 ⁻³	0.097	0.4490	31309.06	Turbulen
Q ₃ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0131	18.9 10 ⁻³	0.103	0.4562	33104.43	Turbulen
Q ₁ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0103	26.6 10 ⁻³	0.081	0.4741	29589.60	Turbulen
Q ₂ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0121	26.6 10 ⁻³	0.089	0.4808	32270.57	Turbulen
Q ₃ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0131	26.6 10 ⁻³	0.099	0.4837	34449.91	Turbulen
Q ₁ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0103	5.6 10 ⁻³	0.093	0.4072	25512.63	Turbulen
Q ₂ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0121	5.6 10 ⁻³	0.094	0.4101	27150.96	Turbulen
Q ₃ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0131	5.6 10 ⁻³	0.103	0.4134	29219.35	Turbulen
Q ₁ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0103	18.9 10 ⁻³	0.080	0.4533	27308.41	Turbulen
Q ₂ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0121	18.9 10 ⁻³	0.092	0.4555	29812.85	Turbulen
Q ₃ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0131	18.9 10 ⁻³	0.100	0.4594	31916.81	Turbulen
Q ₁ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0103	26.6 10 ⁻³	0.078	0.4802	28338.69	Turbulen
Q ₂ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0121	26.6 10 ⁻³	0.089	0.4830	31141.28	Turbulen
Q ₃ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0131	26.6 10 ⁻³	0.095	0.4871	33088.45	Turbulen

Aliran turbulen terjadi karena partikel-partikel aliran bergerak mengikuti alur yang tidak beraturan, baik ditinjau segi ruang maupun waktu sehingga memenuhi syarat aliran turbulen. Aliran turbulen dipengaruhi oleh gaya inersia (kelembaman) dan gaya kekentalan (*visikositas*).

Pengaruh bilangan *Reynolds* (Re) dengan angkutan sedimen (q_b) dijelaskan pada **Gambar 32** di bawah ini.



Gambar 32. Hubungan pengaruh Bilangan *Reynolds* (Re) dengan angkutan sedimen (q_b)

Gambar 32 di atas menunjukkan peningkatan angkutan sedimen (q_b) akibat bilangan *Reynolds* (Re) setelah ada bangunan krib permeable lebih besar dengan tanpa bangunan krib disebabkan karena konsentrasi resistensi aliran turbulen (*vortex*) (Nyantekyi-Kwakye et al., 2019), (Jamieson et al., 2013b) di sekitar titik krib permeable mengalami peningkatan. Pengaruh diameter krib (d_k) dan kerapatan krib permeabel (k_k) mempengaruhi penurunan angkutan sedimen, hal ini dapat ditunjukkan pada diameter krib (d_{k2}) dan kerapatan krib permeable (k_{k1} dan k_{k2}) yang besar, dimana cenderung angkutan sedimen semakin meningkat, dibandingkan dengan diameter krib (d_{k1}) serta kerapatan krib permeable (k_{k1} dan k_{k2}) lebih kecil, cenderung angkutan sedimen semakin menurun, diperkirakan dipengaruhi oleh resistensi aliran turbulen (*vortex*) (Ali & Uijttewaal, 2013). Dengan demikian syarat pergerakan sedimen terpenuhi dengan tegangan geser τ_o lebih besar dari tegangan geser kritis τ_c ($\tau_o > \tau_c$), maka sedimen akan bergerak atau terangkut. Sedangkan pada *space* krib lainnya menjadi area pengendapan sedimen dipengaruhi syarat

tegangan geser lebih kecil dari tegangan geser kritis ($\tau_o < \tau_c$) maka sedimen akan diam atau agradasi. Konsentrasi resistensi turbulensi (*vortex*) (Sukarno, n.d.), (Tsakiris et al., 2014) aliran sebagai dampak dari penempatan benda sebagai hambatan pada saluran dengan kecepatan aliran yang relative tinggi secara tiba-tiba, maka terjadi perlawanan tekanan benda tersebut dengan kecepatan aliran (Humairah, 2014). Sehingga berdampak terhadap pergerakan sedimen di sekitar krib permeable (Choufu et al., 2019).

4.3 Perubahan Morfologi Dasar Saluran

4.3.1 Perubahan Morfologi Dasar Saluran Akibat Krib Permeabel

a. Gerak sedimen dan gaya seret

Perubahan morfologi dasar saluran diawali oleh pergerakan awal sedimen dasar akibat dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain; kecepatan aliran, kemiringan dasar saluran, geometric saluran, material dasar, gaya geser, gaya seret atau gaya hambat aliran. **Tabel 20** diuraikan gaya gerak awal dan gaya seret sedimen dasar untuk TKDS, sedangkan DKDS disajikan pada **Tabel 21** berikut ini.

Tabel 20. Gaya Seret dan gerak Sedimen dengan Tanpa Krib dengan Sedimen (TKDS) di sekitar krib permeabel

Skenario	Q (m ³ /dt)	h, m	u, m/dt	t _o (kg/m ²)	t _c (kg/m ²)	D _r (N)	Keterangan
TKDSQ ₁ S ₁	0.0103	0.0780	0.4266	0.00375	0.00016	0.02052	Bergerak
TKDSQ ₁ S ₂	0.0103	0.0733	0.4734	0.00425	0.00051	0.02081	Bergerak
TKDSQ ₁ S ₃	0.0103	0.0703	0.5008	0.00449	0.00073	0.02065	Bergerak
TKDSQ ₂ S ₁	0.0121	0.0843	0.4315	0.00372	0.00019	0.02191	Bergerak
TKDSQ ₂ S ₂	0.0121	0.0780	0.4793	0.00424	0.00051	0.02152	Bergerak
TKDSQ ₂ S ₃	0.0121	0.0740	0.5069	0.00449	0.00056	0.02159	Bergerak
TKDSQ ₃ S ₁	0.0131	0.0953	0.4410	0.00372	0.00020	0.02367	Bergerak
TKDSQ ₃ S ₂	0.0131	0.0863	0.4890	0.00423	0.00054	0.02390	Bergerak
TKDSQ ₃ S ₃	0.0131	0.0857	0.5168	0.00443	0.00101	0.02432	Bergerak

Tabel 21. Gaya Seret dan gerak Sedimen dengan Dengan Krib dengan Sedimen (DKDS) di sekitar krib permeabel

Scenario	Q (m ³ /dt)	h, m	u, m/dt	t _o (kg/m ²)	t _c (kg/m ²)	D _r (N)	Ket.
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0103	0.0850	0.3884	0.00345	0.00012	0.02078	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0103	0.0820	0.4308	0.00385	0.00012	0.02130	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0103	0.0793	0.4566	0.00412	0.00012	0.02137	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0121	0.0930	0.3951	0.00343	0.00012	0.02246	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0121	0.0883	0.4375	0.00384	0.00026	0.02278	Bergerak

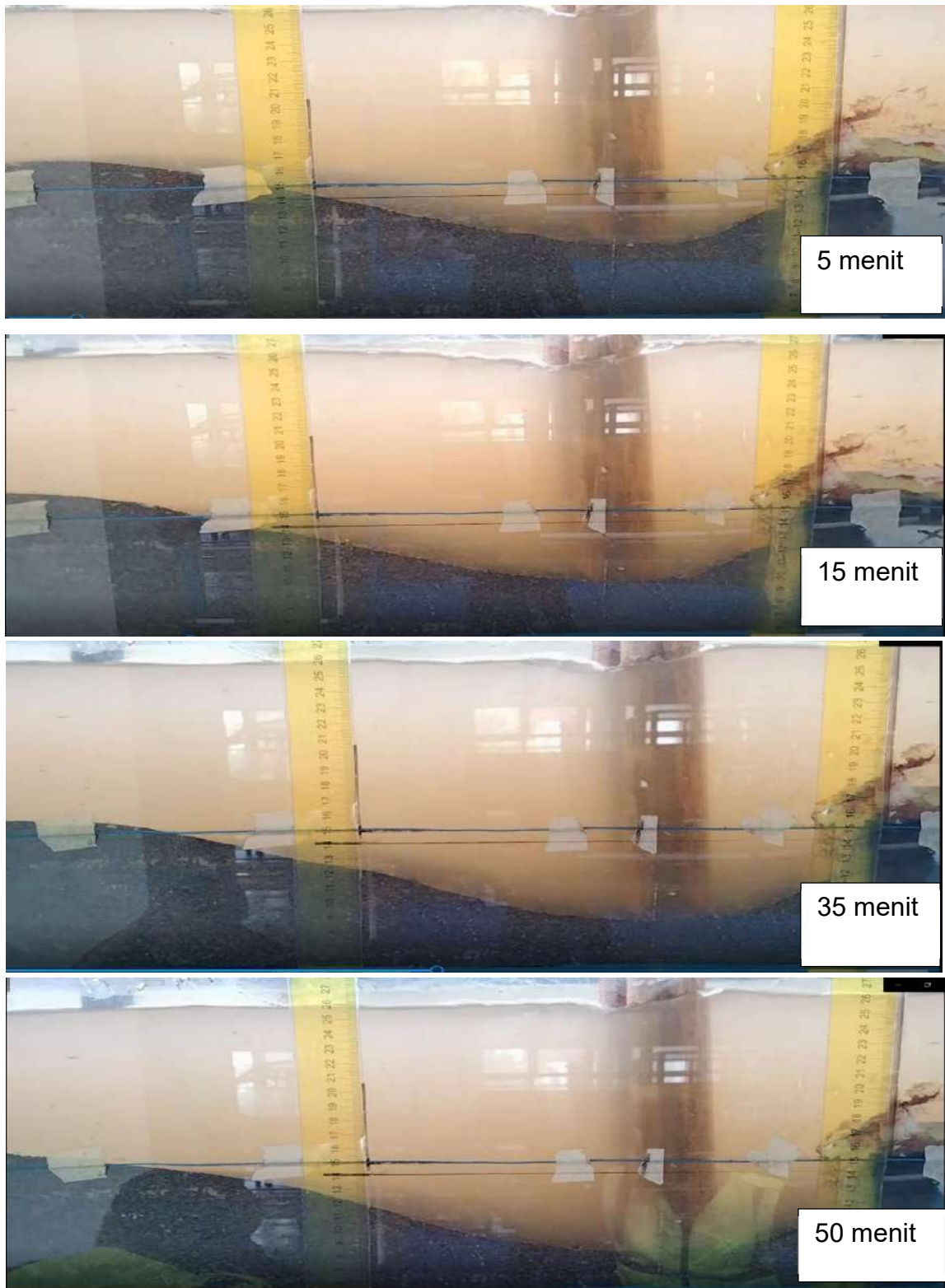
Tabel 21. Gaya Seret dan gerak Sedimen dengan Dengan Krib dengan Sedimen (DKDS) di sekitar krib permeabel (lanjutan)

Scenario	Q (m ³ /dt)	h, m	u, m/dt	t _o (kg/m ²)	t _c (kg/m ²)	D _r (N)	Ket.
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0121	0.0863	0.4658	0.00410	0.00012	0.02310	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0131	0.1057	0.4001	0.00338	0.00012	0.02493	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0131	0.1033	0.4460	0.00378	0.00026	0.02585	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.0131	0.1000	0.4721	0.00403	0.00012	0.02596	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0103	0.0887	0.3909	0.00344	0.00017	0.02155	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0103	0.0810	0.4349	0.00389	0.00052	0.02143	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0103	0.0790	0.4610	0.00414	0.00085	0.02147	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0121	0.0920	0.4962	0.00345	0.00017	0.02232	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0121	0.0897	0.4414	0.00386	0.00053	0.02309	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0121	0.0850	0.4683	0.00414	0.00074	0.02288	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0131	0.1053	0.4014	0.00339	0.00022	0.02491	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0131	0.1003	0.4490	0.00383	0.00057	0.02541	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.0131	0.0957	0.4773	0.00410	0.00106	0.02530	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0103	0.0867	0.3892	0.00349	0.00019	0.02004	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0103	0.0780	0.4307	0.00390	0.00052	0.02051	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0103	0.0753	0.4539	0.00412	0.00081	0.02056	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0121	0.0977	0.4926	0.00339	0.00019	0.02314	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0121	0.0937	0.4392	0.00379	0.00062	0.02382	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0121	0.0917	0.4651	0.00406	0.00074	0.02405	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0131	0.1073	0.3963	0.00335	0.00021	0.02507	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0131	0.1020	0.4433	0.00378	0.00067	0.02551	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.0131	0.0943	0.4721	0.00406	0.00118	0.02514	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0103	0.0813	0.3908	0.00349	0.00018	0.02016	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0103	0.0780	0.4365	0.00393	0.00052	0.02070	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0103	0.0720	0.4613	0.00423	0.00083	0.02003	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0121	0.0900	0.3945	0.00345	0.00018	0.02191	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0121	0.0860	0.4396	0.00385	0.00055	0.02241	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0121	0.0830	0.4663	0.00415	0.00010	0.02241	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0131	0.1000	0.3988	0.00341	0.00021	0.02286	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0131	0.0967	0.4448	0.00383	0.00064	0.02456	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.0131	0.0910	0.4739	0.00411	0.00106	0.02425	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0103	0.0913	0.3983	0.00347	0.00020	0.02224	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0103	0.0873	0.4433	0.00389	0.00055	0.02272	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0103	0.0847	0.4693	0.00415	0.00012	0.02285	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0121	0.1027	0.4024	0.00342	0.00022	0.02443	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0121	0.0973	0.4493	0.00385	0.00065	0.02483	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0121	0.0947	0.4771	0.00411	0.00119	0.02505	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0131	0.1133	0.4081	0.00339	0.00219	0.02655	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0131	0.1110	0.4547	0.00379	0.00070	0.02758	Bergerak

Tabel 21. Gaya Seret dan gerak Sedimen dengan Dengan Krib dengan Sedimen (DKDS) di sekitar krib permeabel (lanjutan)

Scenario	Q (m ³ /dt)	h, m	u, m/dt	t _o (kg/m ²)	t _c (kg/m ²)	D _r (N)	Ket.
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.0131	0.1077	0.4831	0.00405	0.00114	0.02778	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0103	0.0827	0.4741	0.00360	0.00017	0.02098	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0103	0.0807	0.4760	0.00402	0.00052	0.02168	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0103	0.0770	0.4779	0.00429	0.00089	0.02153	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0121	0.0927	0.4780	0.00355	0.00020	0.02296	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0121	0.0907	0.4808	0.00396	0.00056	0.02381	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0121	0.0867	0.4819	0.00423	0.00071	0.02371	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0131	0.1053	0.4809	0.00349	0.00021	0.02326	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0131	0.0993	0.4849	0.00392	0.00065	0.02556	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.0131	0.0973	0.4873	0.00416	0.00116	0.02589	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0103	0.0877	0.4029	0.00354	0.00020	0.02171	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0103	0.0810	0.4474	0.00388	0.00052	0.02159	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0103	0.0807	0.4741	0.00423	0.00085	0.02215	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0121	0.1003	0.4062	0.00346	0.00020	0.02415	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0121	0.0973	0.4490	0.00383	0.00065	0.02488	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0121	0.0887	0.4808	0.00419	0.00069	0.02399	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0131	0.1070	0.4097	0.00345	0.00021	0.02543	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0131	0.1027	0.4562	0.00386	0.00069	0.02604	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.0131	0.0993	0.4837	0.00412	0.00118	0.02617	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0103	0.0927	0.4072	0.00358	0.00020	0.02156	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0103	0.0803	0.4533	0.00403	0.00052	0.02165	Bergerak
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0103	0.0783	0.4802	0.00430	0.00087	0.02186	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0121	0.0937	0.4101	0.00354	0.00020	0.02309	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0121	0.0917	0.4555	0.00392	0.00058	0.02401	Bergerak
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0121	0.0887	0.4830	0.00421	0.00083	0.02406	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0131	0.1033	0.4134	0.00350	0.00021	0.02494	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0131	0.0997	0.4594	0.00390	0.00083	0.02560	Bergerak
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.0131	0.0947	0.4871	0.00417	0.00117	0.02587	Bergerak

Tabel 21 dan **Tabel 22** tersebut di atas, menunjukkan kesesuaian bahwa jika tegangan geser lebih besar dengan tegangan geser kritis ($\tau_o > \tau_c$), maka terjadi sedimen bergerak. Hasil pengujian tanpa krib permeabel dengan sedimen (TKDS) distribusi gerusan sedimen hampir merata pada penampang dasar saluran sedangkan dengan krib permeable dengan sedimen (DKDS) gerusan dasar sedimen terkonsentrasi di sekitar area titik krib permeable. Hal ini dipengaruhi oleh fenomena resistensi aliran turbulen terpusat pada titik area krib (Humairah, 2014) menyebabkan tegangan geser kritis (τ_c) cenderung



Gambar 33. Visualisasi hasil pergerakan sedimen setelah ada krib (DKDS) di sekitar krib permeabel

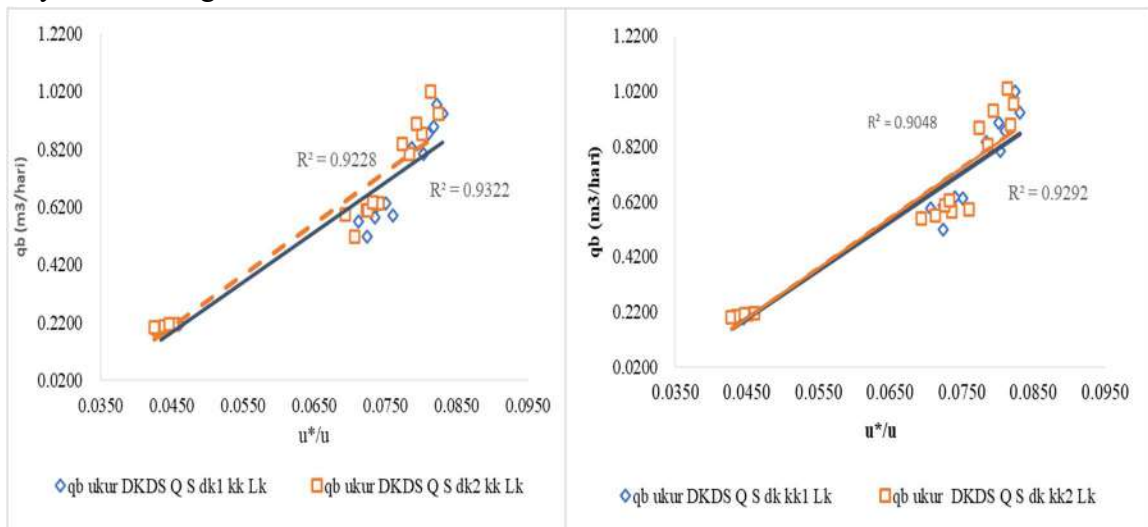


Gambar 34. Visualisasi hasil gerusan sedimen setelah ada krib Permeabel (DKDS) di sekitar krib permeabel.

menurun sedangkan tegangan geser (τ_o) dinamis, sehingga terjadi peningkatan gerusan. Pada *space* atau jarak area krib permeable dengan lainnya menjadi area pengendapan sedimen. Pengendapan terjadi karena tegangan geser (τ_o) lebih kecil dari tegangan geser kritis (τ_c), maka sedimen diam ($\tau_o < \tau_c$). Puncak fenomena aliran turbulen akibat krib permeable terjadi pada menit awal running 5 sampai dengan 35, setelah itu mengalami penurunan gerusan dasar pada menit 35 – 50 menit dan menjelang menit-menit 50 – 75 akhir cenderung tidak terjadi gerusan atau relative sangat kecil. Penurunan gerusan dasar disebabkan perubahan konfigurasi morfologi dasar saluran menjadi mikrostruktur yaitu *antidune* (Yi et al., 2013) dengan adanya endapan sedimen diantara krib menjadi hambatan tegangan geser (τ_o) cenderung menurun lebih kecil dari tegangan geser kritik (τ_c). Visualisasi pengendapan sedimen akibat krib permeable ditunjukkan pada **Gambar 34** dan **Gambar 35**.

b. Pengaruh kecepatan geser (u^*) dengan kecepatan aliran (u) dengan angkutan sedimen (q_b)

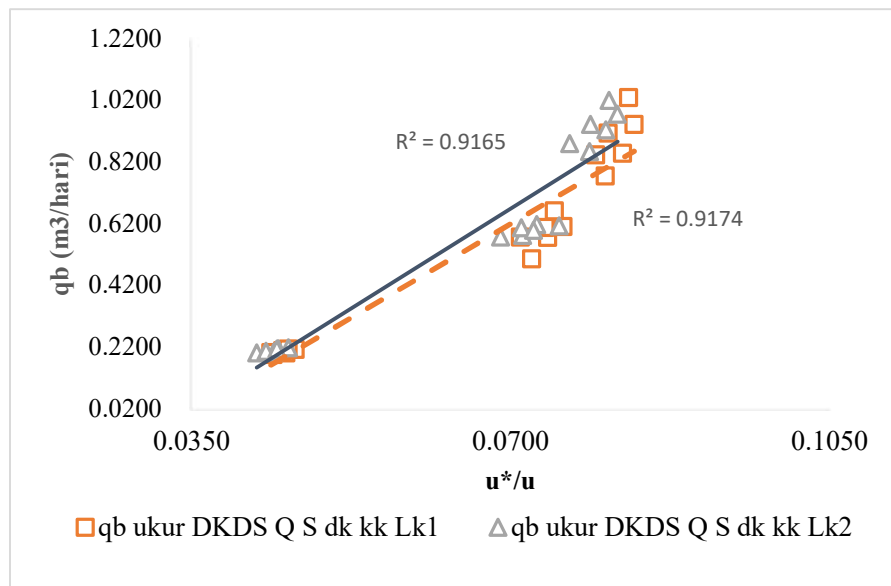
Pengaruh kecepatan geser (u^*) dan kecepatan aliran (u) terhadap angkutan sedimen (q_b) ditunjukkan pada **Gambar 35**. Semakin besar kecepatan aliran dan kecepatan geser menyebabkan angkutan sedimen semakin besar.



Gambar 35. Hubungan kecepatan geser (u^*) dan kecepatan aliran (u) terhadap angkutan sedimen (q_b), (a) variasi diameter krib (d_k), (b) variasi kerapatan krib (kk).

Gambar 35 tersebut di atas menunjukkan bahwa pengaruh peningkatan energi aliran dengan kecepatan geser dan kecepatan aliran berbanding lurus dengan peningkatan

angkutan sedimen (q_b). **Gambar 36 (a)** hubungan kecepatan geser dengan kecepatan aliran (u^*/u) terhadap angkutan sedimen (q_b) pada variasi diameter krib (d_k), menunjukkan semakin kecil diameter krib (d_k) menyebabkan angkutan sedimen cenderung menurun. Hal ini dipengaruhi oleh kerapatan krib (k_k) semakin rapat, sehingga dapat mengurangi resistensi aliran terhadap gerakan sedimen di sekitar krib. Seperti diperlihatkan **Gambar 36 (b)** dengan variasi kerapatan krib (k_k), dimana semakin kecil kerapatan krib (k_k) menunjukkan angkutan sedimen (q_b) cenderung menurun. Hal ini diperkirakan dengan kerapatan krib semakin kecil menunjukkan bidang ruang perlawanan terhadap resistensi aliran, sehingga mengurangi energi menyebabkan terjadinya gerusan dan angkutan sedimen (q_b).



Gambar 36. Hubungan kecepatan geser dan kecepatan aliran (u^*/u) terhadap angkutan sedimen (q_b), pada variasi jarak krib (L_k)

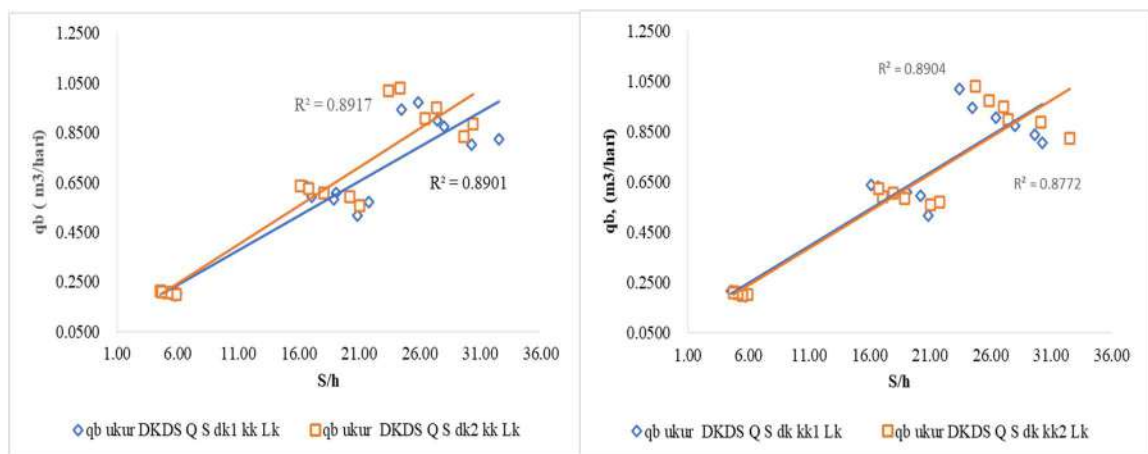
Gambar 36. Jarak krib (L_k) semakin kecil menunjukkan pengaruh gerakan dan angkutan sedimen (q_b) cenderung menurun. Hal ini diperkirakan dengan jarak dan kerapatan krib semakin kecil dapat memperlambat resistensi aliran, sehingga menyebabkan energi gerakan sedimen dan angkutan sedimen (q_b) cenderung menurun.

Hal ini menunjukkan peranan energi kecepatan aliran mempengaruhi menggerakkan sedimen, sebagai dampak dari fenomena aliran turbulen akibat penempatan bangunan krib permeable secara tiba-tiba dengan kondisi kecepatan aliran relatif cepat. Fenomena hidrolis aliran ini berdampak terhadap tegangan geser dasar (τ_o), kecepatan

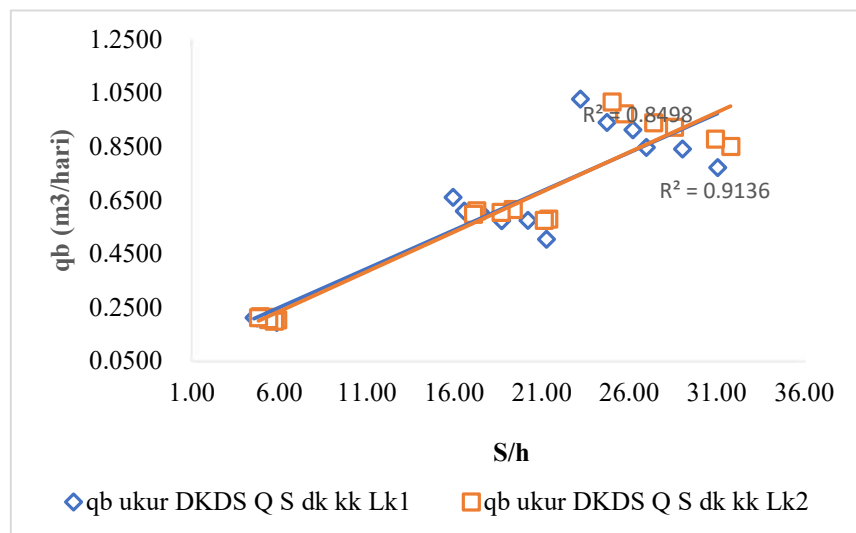
geser (u^*) dan kecepatan aliran (u) dikonversi dalam gerusan dasar dengan angkutan sedimen (q_b). Peningkatan angkutan sedimen cenderung meningkat sedangkan tegangan geser kritis (τ_c) semakin rendah sehingga terjadi gerakan atau angkutan sedimen ($\tau_o > \tau_c$) (Jamieson et al., 2013a), (Koutrouveli et al., 2019)(Mansida et al., 2021).

c. Hubungan hidrolis gradien (S) dengan kedalaman aliran (h) terhadap angkutan Sedimen (q_b)

Hubungan hidrolis gradien (S) dengan kedalaman aliran (h) terhadap angkutan sedimen (q_b), dengan krib dengan sedimen (DKDS), ditunjukkan pada **Gambar 37**, berikut ini.



Gambar 37. (a) Hubungan *hidrolis gradien* dengan kedalaman aliran (S/h) terhadap angkutan sedimen (q_b) pada variasi diameter krib (d_k), **(b)** variasi kerapatan krib (k_k)

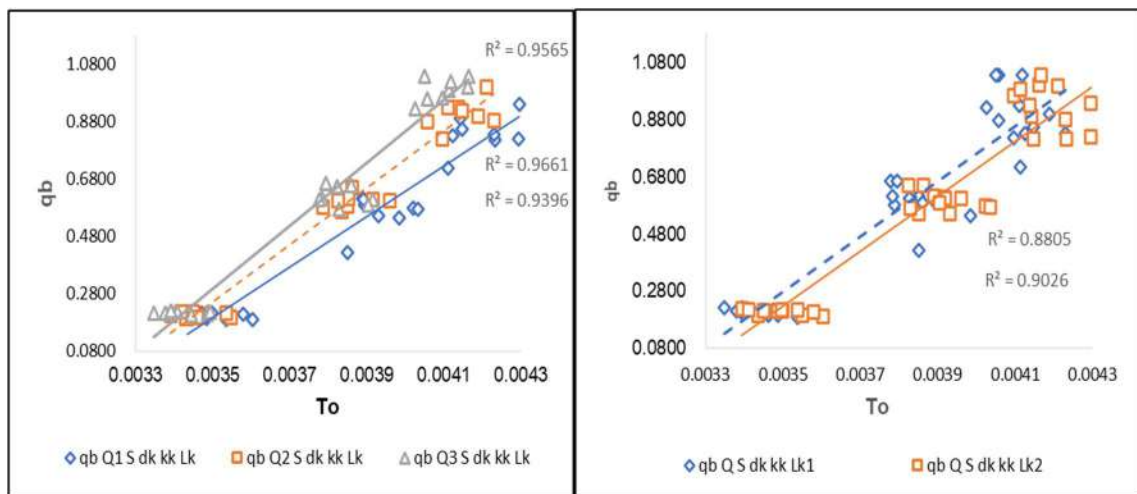


Gambar 38. Hubungan *hidrolis gradien* dengan kedalaman aliran (S/h) terhadap angkutan sedimen (q_b) pada variasi jarak krib (d_k)

Gambar 37. (a) hubungan hidrolik gradien dengan kedalaman aliran (S/h) terhadap angkutan sedimen (q_b) pada variasi diameter krib (d_k) menunjukkan penurunan angkutan sedimen (q_b), dengan diameter krib (d_k) yang lebih kecil. Sedangkan **Gambar 37.** (b) dengan variasi kerapatan krib (k_k), menunjukkan perubahan tidak signifikan. **Gambar 38** pada variasi jarak krib (L_k), menunjukkan perubahan tidak signifikan. Hal ini diperkirakan dipengaruhi oleh energi aliran akibat hidrolik gradien dan kedalaman aliran (h) semakin meningkat. Hal ini dipengaruhi oleh fenomena resistensi turbulen aliran, sehingga berdampak terhadap seluruh komponen aliran di sekitar krib permeabel, baik energi aliran turbulen, tegangan geser (τ_o) maupun kecepatan geser (u^*). Konsekwensi dari peningkatan anergi aliran turbulen ini mempengaruhi peningkatan angkutan sedimen (q_b).

d. Hubungan Tegangan geser dasar saluran (τ_o) terhadap angkutan sedimen (q_b) pada perubahan debit aliran (Q)

Pengaruh tegangan geser dasar (τ_o) terhadap angkutan sedimen (q_b) ditunjukkan pada **Gambar 39** pada perubahan debit, seperti di bawah ini.



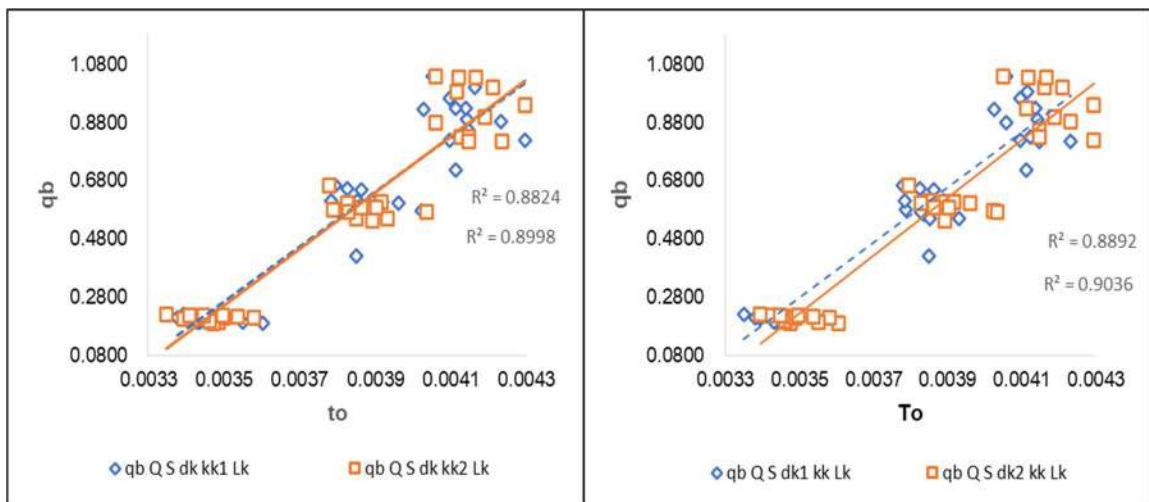
Gambar 39. (a) Hubungan tegangan geser dasar (τ_o) terhadap angkutan sedimen (q_b) pada variasi debit aliran (Q), (b) hubungan tegangan geser dasar (τ_o) terhadap peningkatan angkutan sedimen (q_b) pada perubahan jarak krib (L_k).

Gambar 39 (a) tersebut di atas, menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran berbanding linear dengan peningkatan angkutan sedimen (q_b), hal ini mempengaruhi oleh bahwa dengan meningkatnya debit aliran mempunyai konsekwensi energi aliran meningkat. Sedangkan **Gambar 39** (b) menunjukkan peningkatan debit angkutan

sedimen (q_b) pada perubahan jarak krib (L_k), dimana semakin besar jarak krib (L_k) menunjukkan energi tegangan geser (τ_o) cenderung menurun, sehingga Gerakan sedimen semakin menurun pula. Pergerakan sedimen dipengaruhi oleh tekanan aliran yang dikonversi melalui tegangan geser dasar (τ_o). Pergerakan sedimen terjadi karena tegangan geser dasar (τ_o) lebih besar dengan tegangan geser kritis (τ_c) atau ($\tau_o > \tau_c$) (Jamieson et al., 2013a),(Mansida et al., 2021) dan (Koutrouveli et al., 2019).

e. Hubungan Tegangan geser dasar saluran (T_o) terhadap angkutan sedimen (q_b) pada variasi kerapatan krib (k_k) dan diameter krib (d_k).

Gambar 40 dengan hubungan tegangan geser (τ_o) terhadap angkutan sedimen (q_b) pada variasi kerapatan krib (k_k) dan diameter krib (d_k), sebagaimana di bawah ini.



Gambar 40. Hubungan tegangan geser (τ_o) terhadap angkutan sedimen (q_b) (a) variasi kerapatan krib (k_k), (b) variasi diameter krib (d_k), terhadap angkutan sedimen (q_b)

Gambar 40 (a) menunjukkan perubahan peningkatan angkutan sedimen (q_b) dipengaruhi oleh seiring dengan meningkatnya tegangan geser dasar (τ_o). Variasi kerapatan krib (a_k) menunjukkan tidak signifikan mempengaruhi perubahan angkutan sedimen (q_b). hal terlihat pada **Gambar 40** (a) kerapatan krib (k_{k1}) dan kerapatan krib (k_{k2}) dengan grafik line yang berimpit atau tidak signifikan perbedaanya. Dimana peningkatan angkutan sedimen (q_b) seiring dengan semakin besarnya tegangan geser dasar (τ_o). Sedangkan **Gambar 40** (b) menunjukkan perubahan peningkatan angkutan sedimen (q_b) terjadi pada diameter krib (d_{k2}) yang lebih besar. Dimana diperkirakan dipengaruhi oleh seiring dengan meningkatnya tegangan geser (τ_o). Hal terlihat pada **Gambar 40** (b) bahwa semakin besar

diameter krib (d_k) menunjukkan kecenderungan tegangan geser dasar (τ_o) menurun, sehingga angkutan sedimen (q_b) cenderung menurun. Tegangan geser cukup signifikan mempengaruhi terjadinya gerusan dasar sebagai akumulasi resistensi aliran turbulen (*vortex*) dengan energi kinetik (Cao et al., 2020). Penempatan bangunan krib permeable sebagai upaya untuk mengurangi dampak terhadap kecepatan aliran dan gerusan dasar dengan berbagai variasi kemiringan dasar saluran (S), diameter krib (d_k), kerapatan krib (k_k) dan jarak krib (L_k) pada pengaliran debit (Q) menunjukkan pengaruh yang dalam mengurangi kecepatan aliran namun terhadap gerusan dasar saluran belum menunjukkan pengaruh yang signifikan.

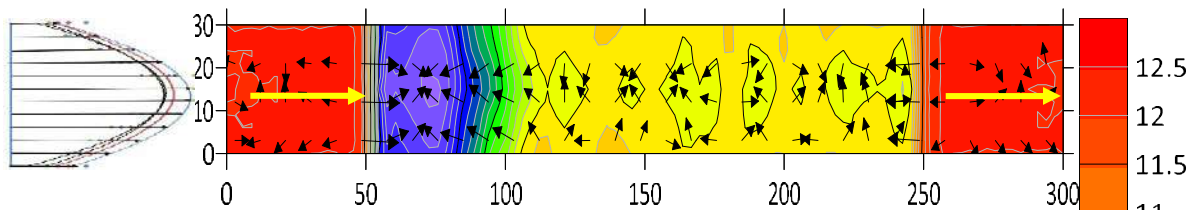
4.4 Pola Perubahan Morfologi Dasar Saluran Akibat Krib Permeabel

4.4.1 Pola perubahan Kecepatan Aliran akibat variasi jarak krib (L_k) dan kerapatan (k_k) Krib Permeabel

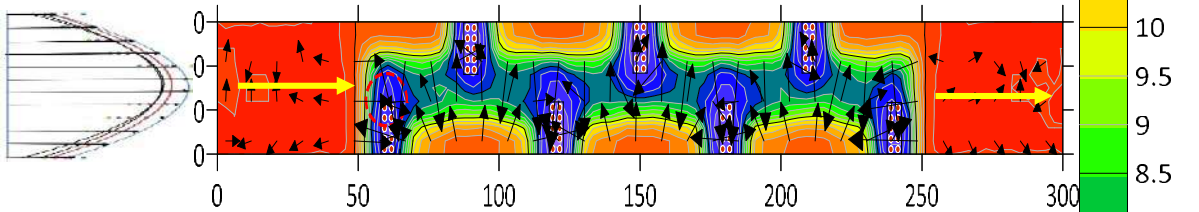
Dampak perubahan geometric dan dinamika aliran pada saluran terbuka menyebabkan terjadi perubahan dasar saluran yang biasa disebut dengan morfologi dasar saluran. Perubahan kecepatan aliran akibat penempatan bangunan krib permeable dilakukan dengan pendekatan analisis numerik model. Hasil simulasi pada kondisi tanpa krib dengan sedimen (TKDS) pada **Gambar 41**, **Gambar 44**, **Gambar 47**, **Gambar 50** dan dengan krib dengan sedimen (DKDS) dengan variasi Q_2 S_2 d_{k1} , k_{k1} , L_{k1} **Gambar 42**, sedangkan **Gambar 43** variasi Q_2 S_2 d_{k1} , k_{k1} , L_{k2} . **Gambar 45** dan **Gambar 47** untuk DKDS variasi Q_2 d_{k1} , k_{k2} , L_{k1} dan L_{k2} . sementara **Gambar 48** dan **Gambar 50** untuk DKDS variasi Q_2 d_{k2} , k_{k2} , L_{k1} dan L_{k2} . serta **Gambar 51** dan **Gambar 52** untuk DKDS variasi Q_2 d_{k2} , k_{k2} , L_{k1} dan L_{k2} . Elevasi dasar saluran dengan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 4.0 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Perubahan elevasi dasar menunjukkan kedalaman gerusan menjadi elevasi.

Perubahan pola perubahan kecepatan aliran merupakan indikator utama perubahan morfologi dasar. Karakter aliran akibat krib permeable yang didominasi aliran turbulen dengan gaya kelembaman (gaya inersia) dan kekentalan energi (*visikositas*) aliran. Kondisi inilah menjadi pemicu sebagai dampak adanya resistensi energi aliran dengan bangunan krib permeable menyebabkan fenomena aliran turbulen tersebut mempunyai energy

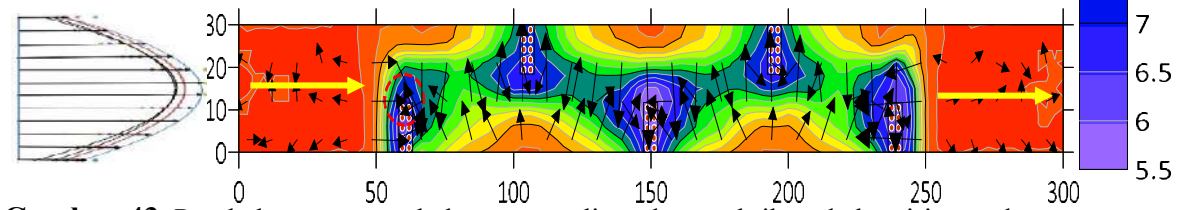
kinetic relative cenderung mengalami kenaikan sehingga menyebabkan stabilitas dasar saluran terjadi gerusan dan angkutan sedimen dasar maupun sedimen layang.



Gambar 41. Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S_2 pada debit pengaliran Q_2



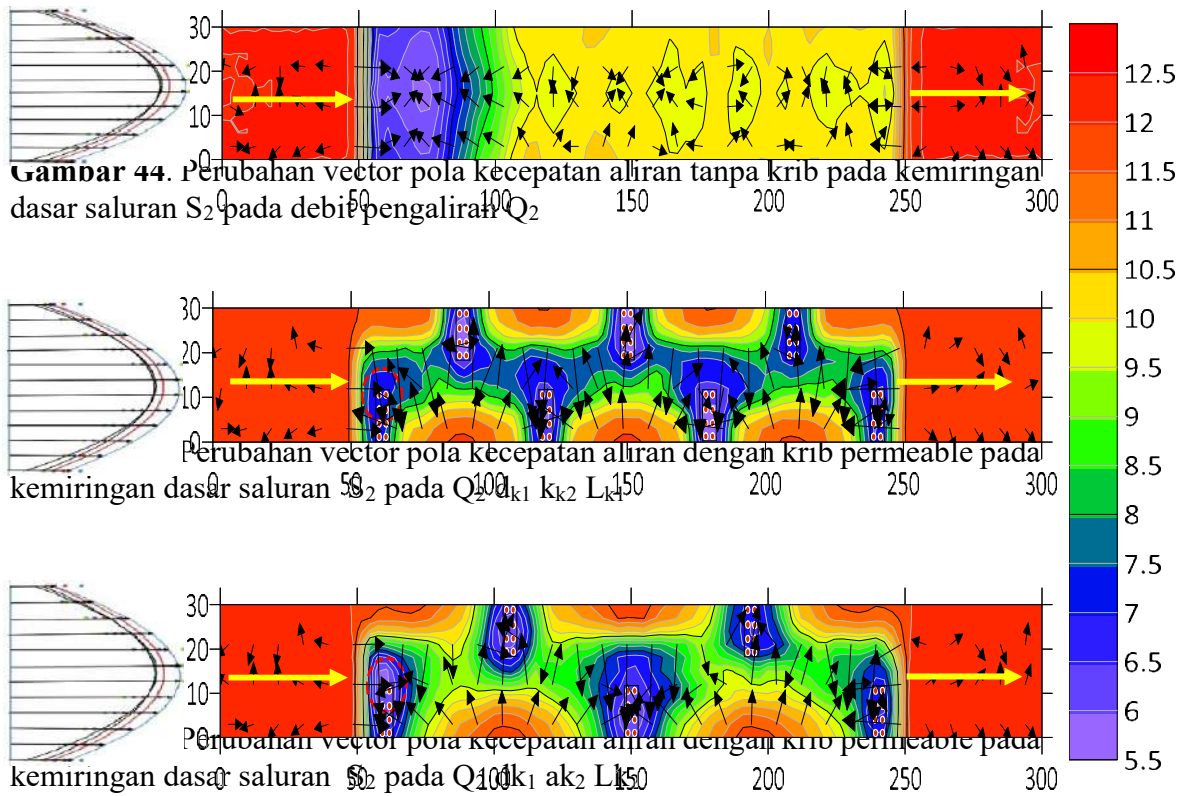
Gambar 42. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib pada kemiringan dasar saluran S_2 dengan Q_2 dk_1 ak_1 Lk_1



Gambar 43. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib pada kemiringan dasar saluran S_2 dengan Q_2 dk_1 ak_1 Lk_2

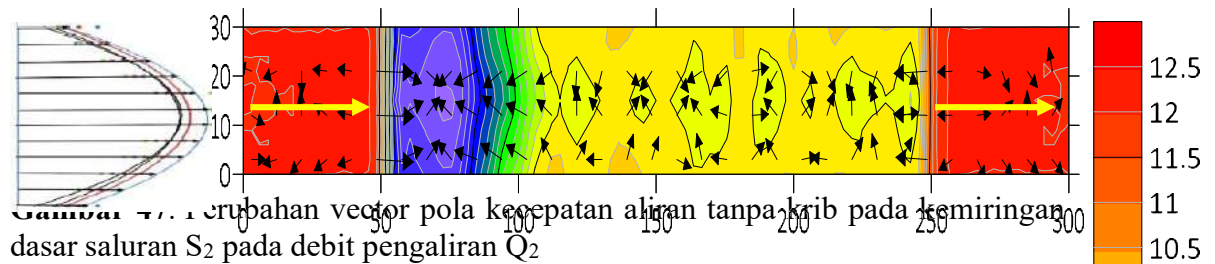
Gambar 41. di atas menunjukkan pola kecepatan aliran tanpa krib terjadi hampir merata pada seluruh penampang saluran sebelum dan sesudah area sedimen, sedangkan pada area segmen sedimen kecepatan aliran mengalami kontraksi akibat pengaruh kekasaran dinding dan sedimen (tanah-pasir), sehingga terjadi perubahan pola kecepatan terkonsentrasi di bagian tengah saluran. Sedangkan **Gambar 42** dan **Gambar 43** dengan variasi diameter krib (dk_1), kerapatan krib (dk_1) dengan jarak krib (L_{k1}) dan (L_{k2}) kemiringan dasar saluran S_2 pada debit Q_2 menunjukkan pola kecepatan aliran akibat krib permeable mengalami perubahan pola kecepatan (Zhu et al., 2014), lebih cenderung konsentrasi di sekitar area titik krib permeabel dan bagian tengah saluran. Pada area tanpa krib bagian hulu dan hilir krib permeable tersebar hampir merata ke penampang saluran. Perubahan terjadi akibat resistensi aliran turbulen cukup tinggi. Vektor pola aliran cenderung rapat dibandingkan dengan jarak krib (L_{k2}) pada jarak yang lebih besar sedangkan lebih renggang vector pola kecepatan aliran pada jarak (L_{k1}). Penempatan bangunan krib

permeable mempengaruhi penurunan kecepatan aliran sekitar untuk $L_{k1}=8.6409\%$ dan $L_{k2}= 11.7192\%$ (Jamieson et al., 2013b), (Baki et al., 2017). Hal ini seiring dengan salah satu fungsi krib adalah pengaturan kecepatan aliran, namun menyebabkan terjadi fenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), dimana terkonsentrasi di sekitar titik krib.

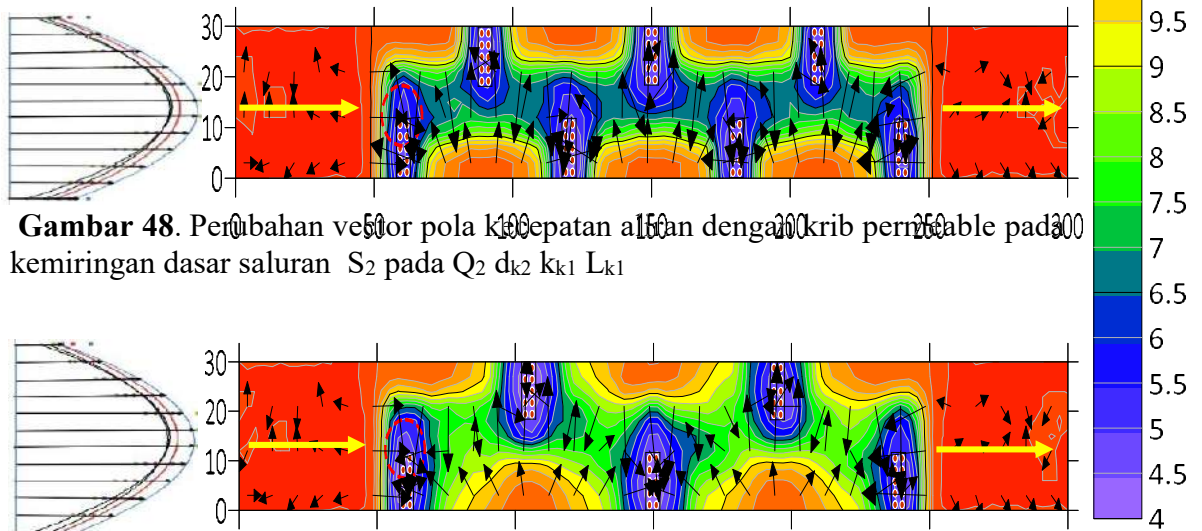


Gambar 45 di atas dengan variasi diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib (L_{k1}) dan dan **Gambar 46** jarak krib (L_{k2}) pada debit Q_2 dengan kemiringan dasar saluran S_2 menunjukkan pola kecepatan aliran akibat krib permeable mengalami perubahan vector-vektor pola kecepatan (Zhu et al., 2014) lebih cenderung terkonsentrasi disekitar area titik krib dan bagian tengah saluran. Dimana jarak krib permeable (L_{k2}) lebih besar **Gambar 46** menunjukkan vector-vektor pola kecepatan aliran lebih cenderung rapat dan padat sedangkan jarak krib permeable (L_{k1}) lebih kecil **Gambar 45** menunjukkan vector-vektor pola kecepatan aliran lebih sedikit dan renggang. Sedangkan **Gambar 44** vektor-vektor pola kecepatan (Park et al., 2016) aliran tanpa krib dan sedimen terjadi hampir merata pada seluruh penampang saluran lurus saluran. Perubahan vector-vektor pola

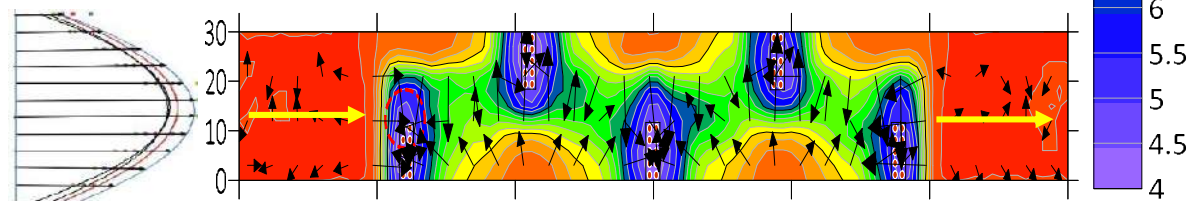
kecepatan aliran akibat pengaruh kekasaran dasar saluran dari sedimen (tanah-pasir). Penempatan bangunan krib permeable pada saluran mempengaruhi penurunan kecepatan aliran sekitar untuk $L_{k1}=12.1523\%$ dan $L_{k2} = 12.0717\%$ (Jamieson et al., 2013b), (Baki et al., 2017). Seiring dengan salah satu fungsi krib adalah pengaturan kecepatan aliran, namun menyebabkan terjadi phenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Nyantekyi-Kwakye et al., 2019) sehingga terkonsentrasi di sekitar krib.



Gambar 47. Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S_2 pada debit pengaliran Q_2



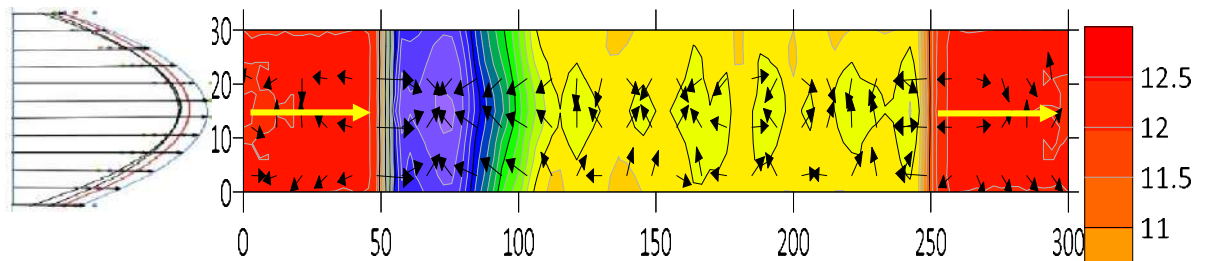
Gambar 48. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 dk2 k1 L_{k1}



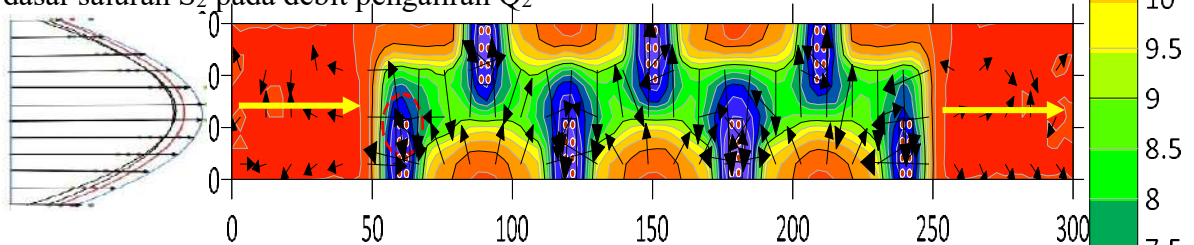
Gambar 49. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 dk2 k1 L_{k2}

Gambar 48 dengan diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k1}), dan **Gambar 49** jarak krib (L_{k2}) pada kemiringan dasar saluran S_2 dan debit Q_2 menunjukkan vector-vektor pola kecepatan aliran akibat krib permeable mengalami perubahan lebih cenderung terkonsentrasi disekitar area titik krib permeable. Pada **Gambar 49** menunjukkan vector-vektor pola kecepatan aliran lebih cenderung rapat atau padat untuk jarak krib L_{k2} lebih besar, sedangkan jarak krib lebih kecil L_{k1} vektor-vektor pola kecepatan

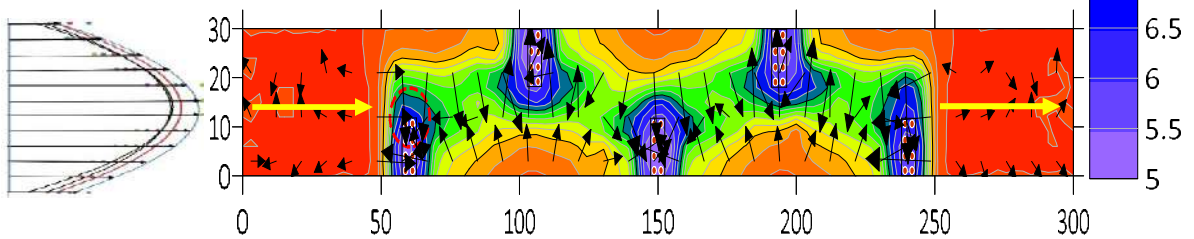
aliran (Park et al., 2016) lebih renggang dan sedikit. **Gambar 47** vektor-vektor pola kecepatan aliran tanpa krib terjadi hampir merata pada seluruh penampang saluran, namun pada bagian segmen sedimen terjadi perubahan vector-vektor pola aliran akibat pengaruh kekasaran dasar saluran dari sedimen (tanah). Bangunan krib permeable mempengaruhi penurunan kecepatan aliran pada $L_{k1}=10.1223\%$ dan $L_{k2}=8.6398\%$ (Jamieson et al., 2013b), (Baki et al., 2017). Elevasi dasar saluran dengan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasai terendah 5.0 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi saluran, sekaligus menjadi kedalam gerusan.



Gambar 50. Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S_2 pada debit pengaliran Q_2



Gambar 51. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k1}



Gambar 52. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k2}

Gambar 51 di atas, dengan variasi diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib (L_{k1}), dan **Gambar 52** jarak krib (L_{k2}) pada kemiringan dasar saluran S_2 dan debit Q_2 menunjukkan vector-vektor pola kecepatan aliran akibat krib permeable terjadi perubahan lebih cenderung terkonsentrasi disekitar area titik krib dan bagian tengah saluran. **Gambar**

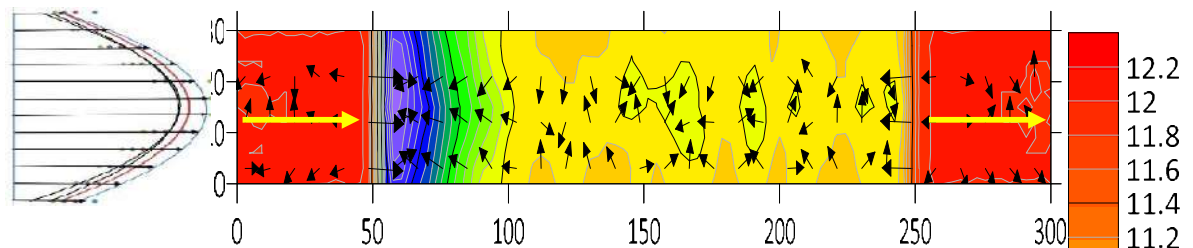
52 dengan jarak krib L_{k2} lebih besar menunjukkan vector-vector pola kecepatan aliran lebih cenderung rapat atau padat sedangkan dengan jarak krib (L_{k1}) lebih kecil vector-vector pola kecepatan aliran cenderung renggang dan sedikit. Sedangkan **Gambar 50** vektor pola kecepatan aliran (Park et al., 2016) tanpa krib terjadi hampir merata pada seluruh penampang saluran lurus saluran, namun pada segmen sedimen terjadi perubahan pola aliran akibat pengaruh kekasaran dasar saluran dari sedimen (tanah). Bangunan krib permeable mempengaruhi penurunan kecepatan aliran untuk jarak krib permeabl $L_{k1}=10.1870\%$ dan $L_{k2}=8.8971\%$ (Jamieson et al., 2013b), (Baki et al., 2017) dan (Matinfard et al., 2013). Hal ini seiring dengan salah satu fungsi krib adalah pengaturan kecepatan aliran, namun menyebabkan terjadi fenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Tan & Curran, 2012) sehingga terkonsentrasi di titik sekitar krib permeabel.

Pengaruh jarak krib (L_k) dan diameter krib (d_k) mempengaruhi perubahan vektor-vektor pola kecepatan aliran. Hal ini menunjukkan semakin besar jarak krib menyebabkan vektor kecepatan aliran semakin banyak dan rapat sedangkan jarak krib yang kecil menyebabkan vektor kecepatan aliran lebih renggang dan sedikit. Perubahan ini vektor kecepatan aliran juga disebabkan kontraksi dan gesekan bangunan krib permeabel dengan kecepatan aliran yang relatif tinggi. Kontraksi menyebabkan terjadi turbulensi aliran, (Sukhodolov et al., 2017), (Li, Zeng, & Zha, 2020) di sekitar titik krib permeabel yang dikonversi menjadi tegangan geser (τ_o) (Ikhsan et al., 2013), (Koutrouveli et al., 2019).

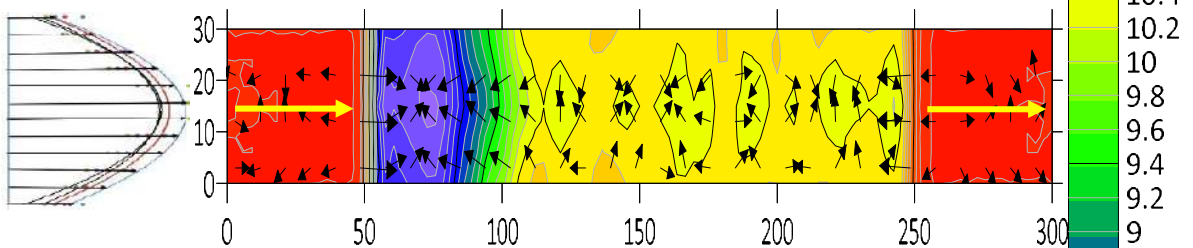
4.4.2 Pola perubahan Kecepatan Aliran akibat variasi kemiringan saluran (So) pada jarak krib (L_k), kerapatan krib (k_k), dan diameter krib (d_k)

Hasil simulasi pada kondisi tanpa krib dengan Sedimen (TKDS) ditunjukkan pada **Gambar 53 Gambar 54**, dan **Gambar 55** dengan variasi kemiringan dasar saluran (S_1 , S_2 dan S_3) pada debit pengaliran (Q_2), sedangkan dengan krib dengan sedimen (DKDS) diameter krib (d_{k1}) dtunjukkan pada **Gambar 56 – Gambar 58** pada Q_2 variasi d_{k1} k_{k1} L_{k1} dengan variasi kemiringan dasar (S_1 , S_2 , dan S_3), **Gambar 59 – Gambar 61** pada Q_2 variasi d_{k2} k_{k1} L_{k2} kemiringan dasar (S_1 , S_2 , dan S_3), **Gambar 62 – Gambar 64** pada Q_2 variasi d_{k1} k_{k2} L_{k1} kemiringan dasar (S_1 , S_2 , dan S_3), **Gambar 65 – Gambar 67** pada Q_2 variasi d_{k1} k_{k2} L_{k2} dengan kemiringan dasar saluran (S_1 , S_2 dan S_3). Sedangkan untuk DKDS diameter krib (d_{k2}) pada **Gambar 68-Gambar 70** pada Q_2 variasi d_{k2} k_{k1} L_{k1} ,

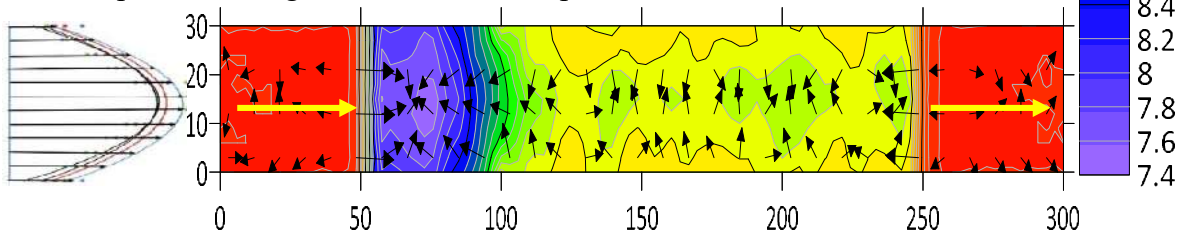
Gambar 71 – Gambar 73 pada Q_2 variasi d_{k2} k_{k1} L_{k2} , **Gambar 74 – 76** pada Q_2 variasi d_{k2} k_{k2} L_{k1} , dan **Gambar 77 – Gambar 79** pada Q_2 variasi d_{k2} k_{k2} L_{k2} . Elevasi dasar saluran dengan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 5.0 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Perubahan elevasi dasar menunjukkan kedalaman gerusan menjadi elevasi.



Gambar 53. Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib dengan sedimen pada kemiringan dasar saluran S_1 pada debit pengaliran Q_2



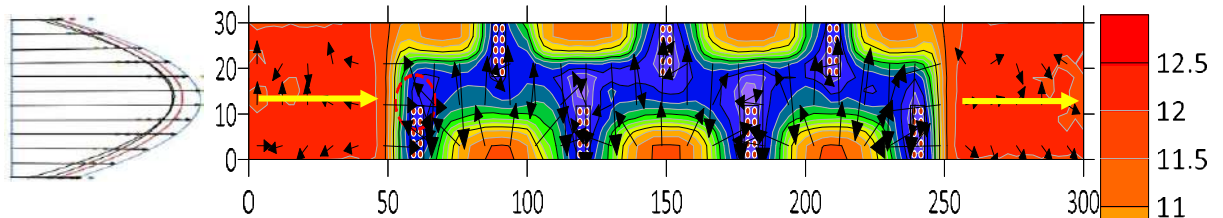
Gambar 54. Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib permeable dengan sedimen pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2



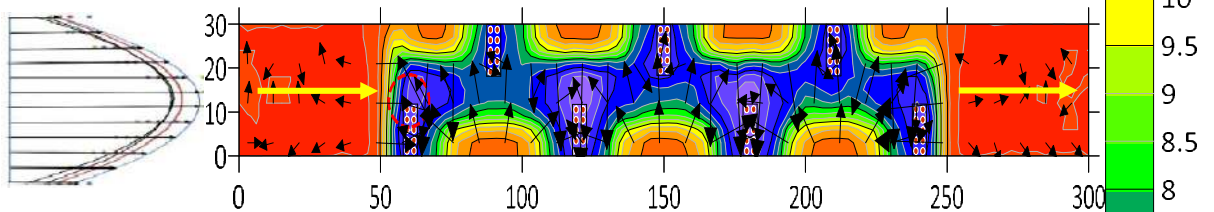
Gambar 55. Perubahan vector pola kecepatan aliran tanpa krib permeable dengan sedimen pada kemiringan dasar saluran S_3 pada Q_2

Gambar 53 kemiringan dasar saluran (S_1), **Gambar 54** kemiringan dasar saluran (S_2) dan **Gambar 55** dengan kemiringan dasar saluran (S_3) pada debit pengaliran (Q_2), tanpa krib dengan sedimen. Menunjukkan semakin besar kemiringan dasar saluran vector-vector pola kecepatan aliran semakin rapat dan padat di bagian tengah saluran pada area sedimen. Sedangkan pada area tanpa sedimen bagian hulu dan hilir vector pola kecepatan aliran cenderung merata ke bagian penampang saluran. Perubahan ini disebabkan oleh kekasaran sedimen dasar saluran. Perubahan kecepatan aliran setelah adanya sedimen

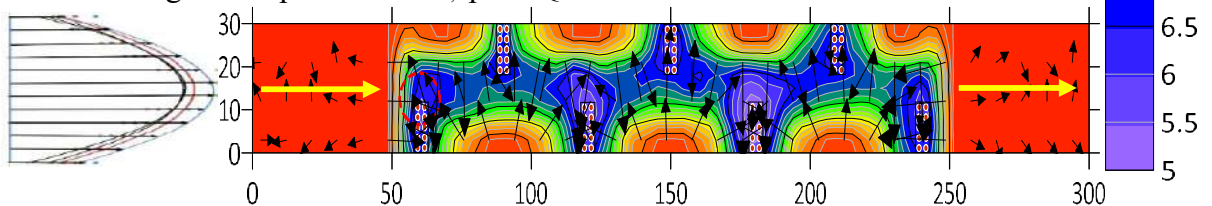
sebagai kekasaran dasar saluran pada variasi kemiringan dasar saluran $S_1 = 12.3409\%$, $S_2 = 4.1353\%$ dan $S_3 = 1.1423\%$. Elevasi dasar saluran dengan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 5.0 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi saluran, sekaligus menjadi kedalam gerusan.



Gambar 56. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_1 , pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k1}



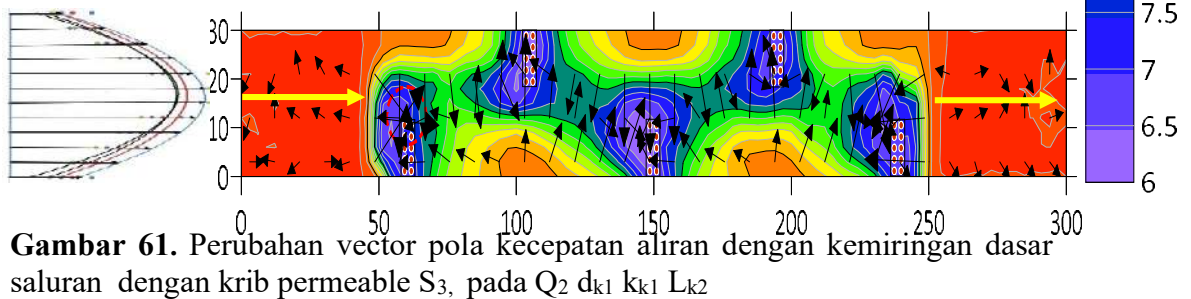
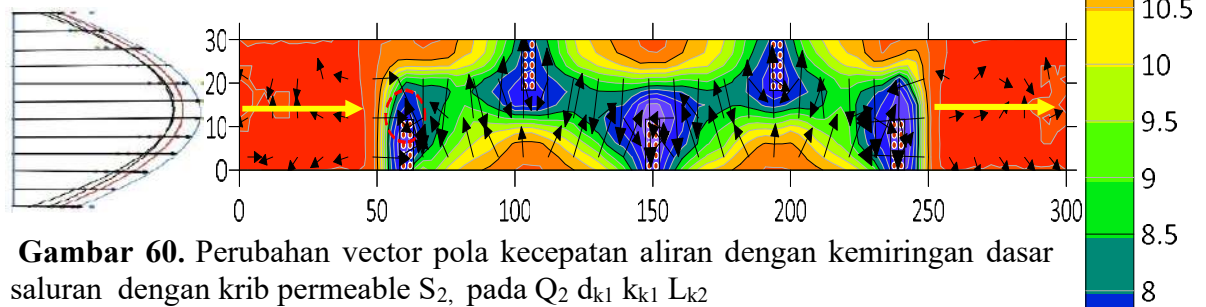
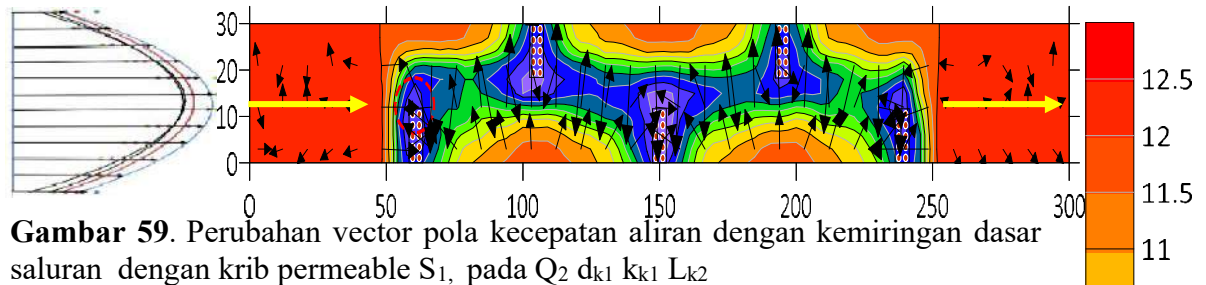
Gambar 57. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_2 , pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k1}



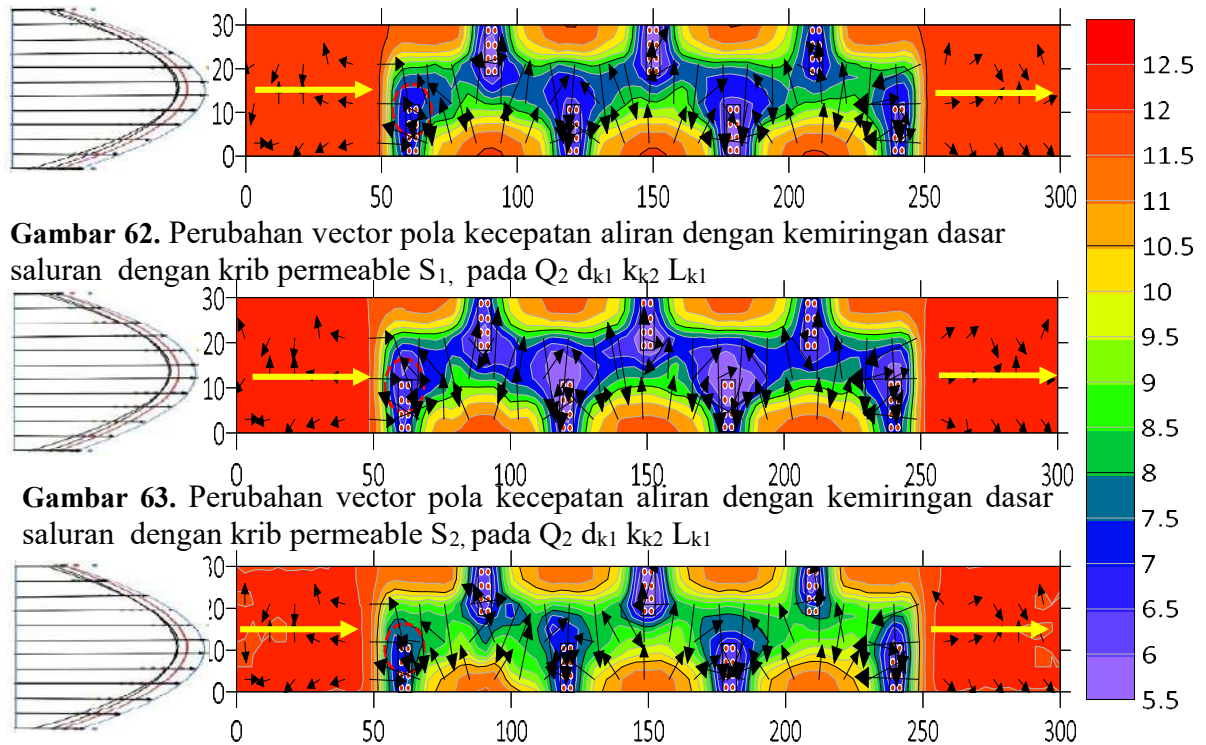
Gambar 58. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_3 , pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k1}

Gambar 56 dengan kemiringan dasar saluran S_1 , **Gambar 57** kemiringan dasar saluran S_2 dan **Gambar 58** kemiringan dasar saluran S_3 dengan variasi diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k1}) pada debit Q_2 tersebut di atas. Vector pola kecepatan aliran akibat krib permeable mengalami perubahan dengan cenderung terkonsentrasi bagian tengah saluran, hal ini dipengaruhi oleh factor kekasaran dasar saluran dan hambatan krib permeabel. Penempatan bangunan krib permeable pada saluran mempengaruhi penurunan kecepatan aliran untuk kemiringan $S_1 = 11.2099\%$, $S_2 = 8.6409\%$, $S_3 = 8.0123\%$. Sebagaimana fungsi krib adalah pengaturan kecepatan aliran, namun terjadi fenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Sukhodolov et al., 2017), (Zhu et al., 2014) akibat hambatan krib permeable secara tiba-tiba pada kondisi kecepatan

aliran relative tinggi, sehingga terkonsentrasi di sekitar area krib permeable. Elevasi dasar saluran dengan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasai terendah 5.0 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Perubahan elevasi dasar menunjukkan kedalaman gerusan menjadi elevasi.



Gambar 59 dengan kemiringan dasar saluran (S_1), **Gambar 60** kemiringan dasar saluran (S_2) dan **Gambar 61** kemiringan dasar saluran (S_3), dengan variasi diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k2}) pada debit Q_2 di tersebut atas. Perubahan vector pola kecepatan dengan cenderung terkonsentrasi bagian tengah saluran akibat hambatan krib permeabel. Penempatan bangunan krib permeable pada saluran mempengaruhi penurunan kecepatan aliran $S_1 = 18.5654\%$, $S_2 = 11.7192\%$, $S_3 = 6.8112\%$. Hal ini merupakan salah satu fungsi krib adalah pengaturan kecepatan aliran, namun menyebabkan terjadi fenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Zhu et al., 2014), (Sukhodolov et al., 2017) terkonsentrasi di sekitar area krib permeable.

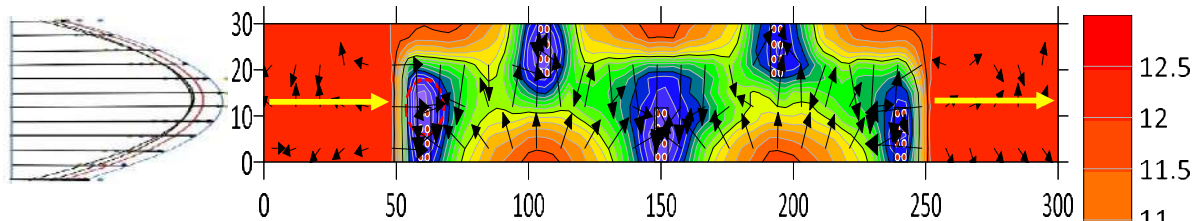


Gambar 62. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_1 , pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k1}

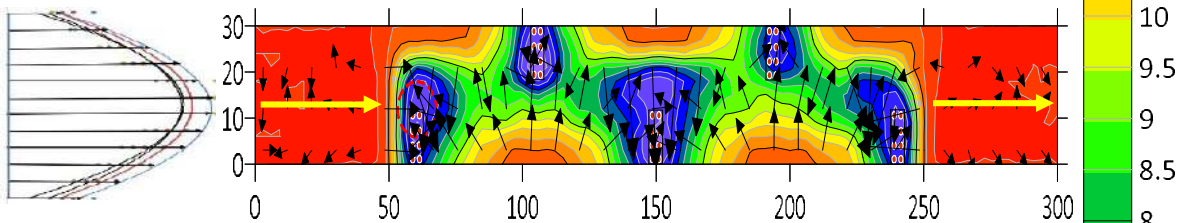
Gambar 63. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_2 , pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k1}

Gambar 64. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_3 , pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k1} .

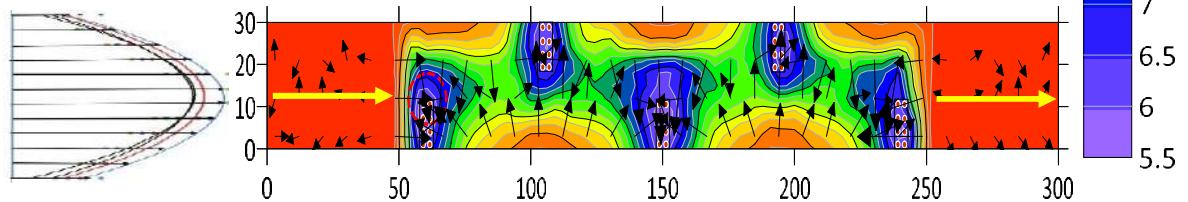
Gambar 62 kemiringan dasar saluran S_1 , **Gambar 63** kemiringan dasar saluran S_2 dan **Gambar 64** kemiringan dasar saluran S_3 pada variasi diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib (L_{k1}) pada debit Q_2 tersebut di atas. Perubahan vector pola kecepatan aliran seiring dengan semakin besarnya nilai kemiringan dasar saluran. Dimana cenderung terpusat pada bagian tengah saluran dan semakin renggang untuk kerapatan krib (k_{k2}) lebih besar pada area sedimen, sedangkan vector pola kecepatan aliran sebelum dan sesudah titik krib terjadi vektor pola kecepatan aliran lebih cenderung merata ke penampang saluran, akibat pengaruh kekasaran dinding dan dasar saluran. Bangunan krib permeable pada saluran mempengaruhi penurunan kecepatan aliran pada kemiringan dasar saluran rata-rata $S_1= 19.3224 \%$, $S_2= 15.23\%$, $S_3= 7.4373\%$. Seiring dengan salah satu fungsi krib adalah pengaturan kecepatan aliran, namun menyebabkan terjadi fenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Sukhodolov et al., 2017), (Jamieson et al., 2013b) terkonsentrasi di sekitar area krib permeabel.



Gambar 65. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_1 , pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k2}



Gambar 66. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_2 , pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k2}



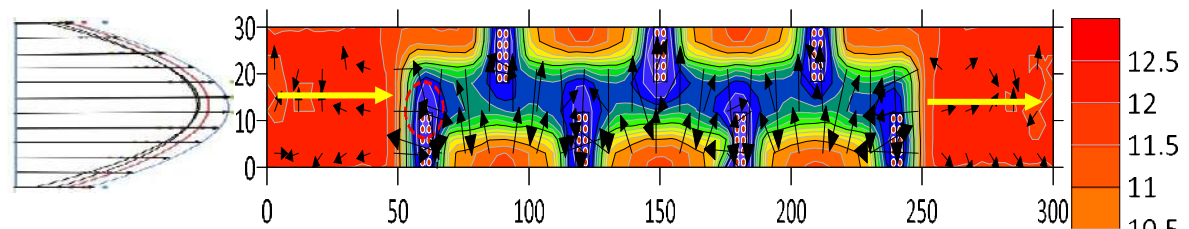
Gambar 67. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_3 , pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k2}

Gambar 65 kemiringan saluran (S_1), **Gambar 66** kemiringan saluran (S_2) dan **Gambar 67** kemiringan saluran (S_3) dengan variasi diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib (L_{k2}) pada debit Q_2 tersebut di atas. Perubahan vector pola kecepatan aliran sehingga terkonsentrasi di bagian tengah saluran. Sedangkan vector pola kecepatan aliran tanpa krib bagian hulu dan hilir cenderung merata di seluruh penampang saluran. Hal ini seiring dengan fungsi krib adalah pengaturan kecepatan aliran dapat penurunan kecepatan aliran rata-rata sekitar untuk $S_1= 18.9134\%$, $S_2=12.0717 \%$ dan $S_3=7.1955\%$, namun menyebabkan terjadi fenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Jamieson et al., 2013b), (Zhu et al., 2014) terkonsentrasi di sekitar krib permeabel.

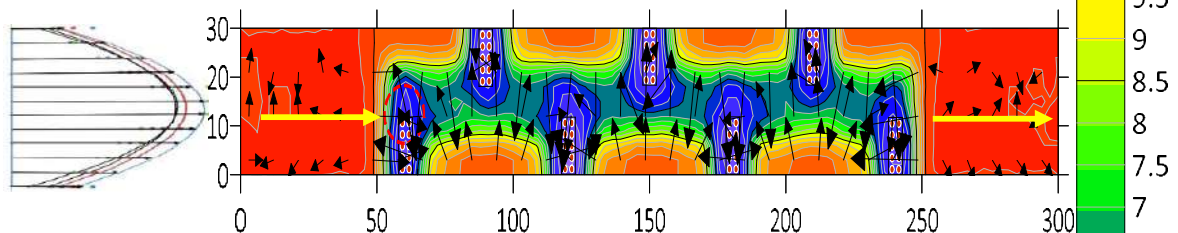
Dampak dengan adanya hambatan aliran dengan krib permeable menyebabkan fenomena turbulensi aliran sehingga menyebabkan adanya resistensi terhadap dasar saluran dengan gerusan disekitar (Choufu et al., 2019) krib permeable. Diperkirakan sebagai konsekuensi peningkatan turbulensi aliran (Constantinescu et al., 2013), (Jamieson et al., 2013a), (Ahmed et al., 2020), (Mansida et al., 2020), akibat turbulensi yang konversi

kedalam tegangan geser (Falah et al., 2017), (Ikhsan et al., 2016), sehingga didominasi gaya kelembaman (inersia) dan gaya kekentalan (visikositas), sehingga berdampak terhadap kecepatan aliran dan perubahan dasar.

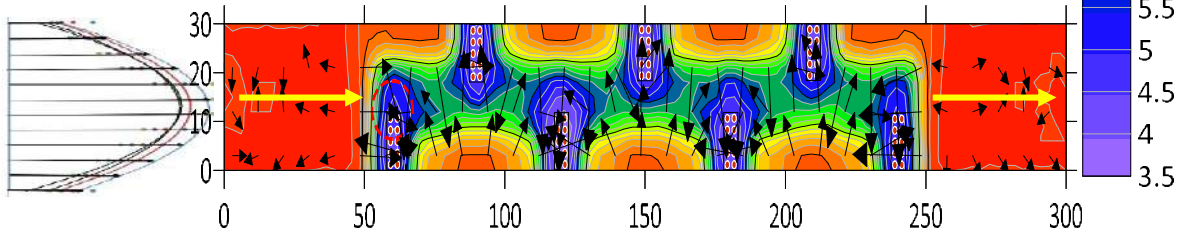
Sedangkan dengan krib dengan sedimen (DKDS) pada **Gambar 68-70** debit aliran (Q_2) dengan variasi diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k1}) dan variasi kemiringan S_1 , S_2 serta S_3 , **Gambar 71-73** pada debit aliran (Q_2) dengan variasi diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k1}) jarak krib (L_{k2}) dan variasi kemiringan S_1 , S_2 serta S_3 , **Gambar 74-76** debit aliran (Q_2) dengan variasi diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k2}) jarak krib (L_{k1}), dan variasi kemiringan S_1 , S_2 serta S_3 **Gambar 77-80** debit aliran (Q_2) dengan variasi diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (ak_2) jarak krib (L_{k2}) dan variasi kemiringan S_1 , S_2 serta S_3 . Elevasi dasar saluran dengan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasai terendah 3.5 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukan elevasi dasar saluran. Perubahan elevasi dasar menunjukkan kedalaman gerusan menjadi elevasi.



Gambar 68. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_1 , pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k1}

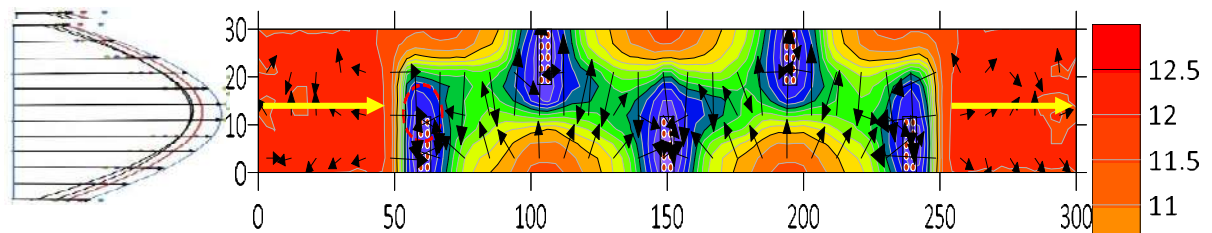


Gambar 69. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_2 , pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k1}

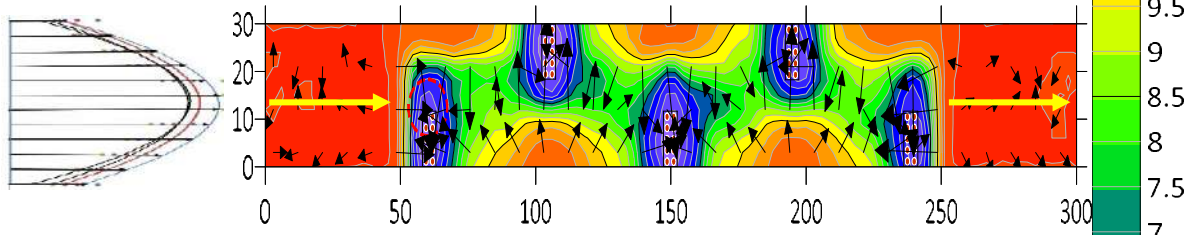


Gambar 70. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_3 , pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k1} .

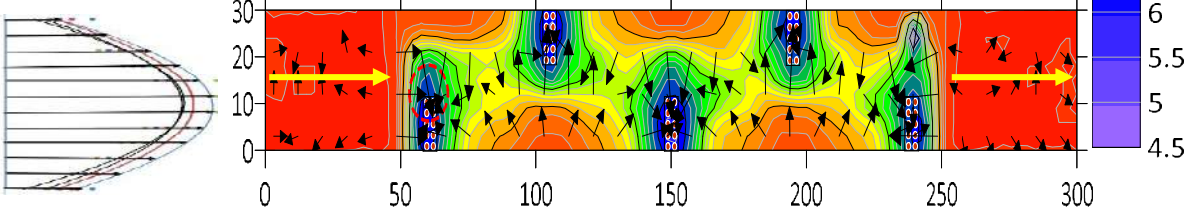
Gambar 68 dengan kemiringan dasar saluran (S_1), **Gambar 69** kemiringan dasar saluran (S_2) dan **Gambar 70** kemiringan dasar saluran (S_3) dengan variasi diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (a_{k1}), jarak krib (L_{k1}) pada debit Q_2 tersebut di atas. Perubahan vector pola kecepatan dengan cenderung terkonsentrasi di bagian tengah saluran. Sedangkan pola kecepatan aliran sebelum dan sesudah titik krib permeabel terjadi pola kecepatan aliran cenderung merata ke bagian tengah saluran akibat pengaruh kekasaran dasar dan dinding saluran. Penempatan bangunan krib permeable mempengaruhi perubahan dan penurunan kecepatan aliran rata-rata sekitar $S_1=17.3073\%$, $S_2=10.1223\%$ dan $S_3=5.0478\%$. Namun menyebabkan terjadi fenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Ahmed et al., 2020), (Sukarno, n.d.) sehingga terkonsentrasi di sekitar krib permeabel.



Gambar 71. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_1 , pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k2}



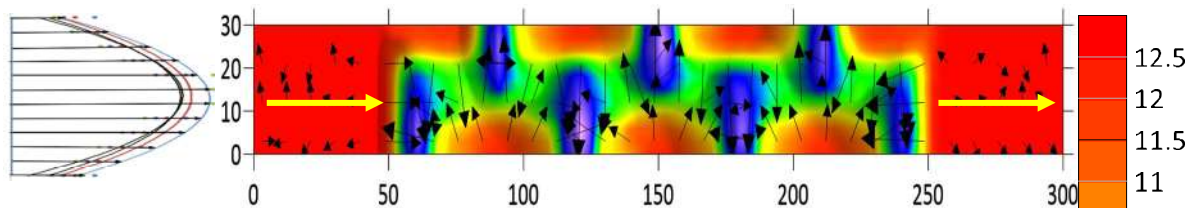
Gambar 72. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_2 , pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k2}



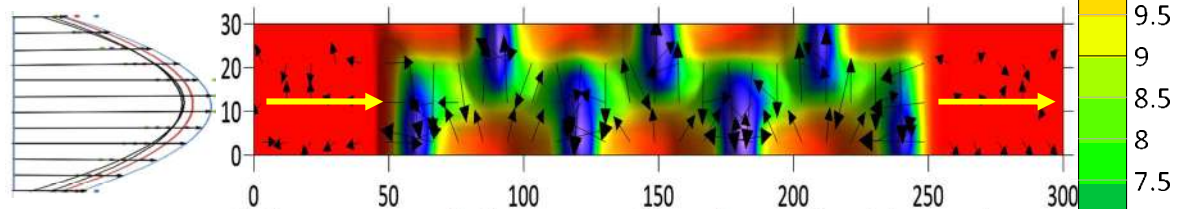
Gambar 73. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_3 , pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k2}

Gambar 71 dengan kemiringan dasar saluran (S_1), **Gambar 72** kemiringan dasar saluran (S_2), **Gambar 73** kemiringan dasar saluran (S_3) dengan variasi diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k2}) pada debit Q_2 tersebut di atas. Perubahan vektor pola

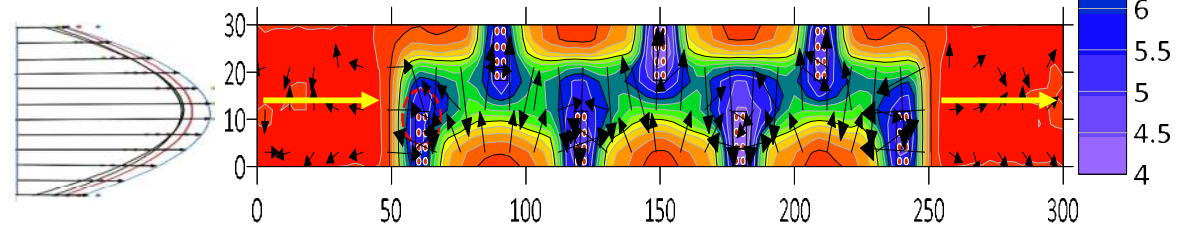
kecepatan dengan cenderung terkonsentrasi di bagian tengah saluran pada area sedimen. Sedangkan vector pola kecepatan aliran sebelum dan sesudah area krib cenderung merata ke bagian saluran akibat pengaruh kekasaran dinding dasar saluran. Penempatan bangunan krib permeable mempengaruhi penurunan kecepatan aliran pada kemiringan dasar saluran rata-rata $S_1 = 15.5098\%$, $S_2 = 8.6398$ dan $S_3 = 3.6159\%$. Namun menyebabkan terjadi fenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Ahmed et al., 2020), (Cea et al., 2007) sehingga terkonsentrasi di sekitar area krib permeabel.



Gambar 74. perubahan vektor pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_1 , pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k1}



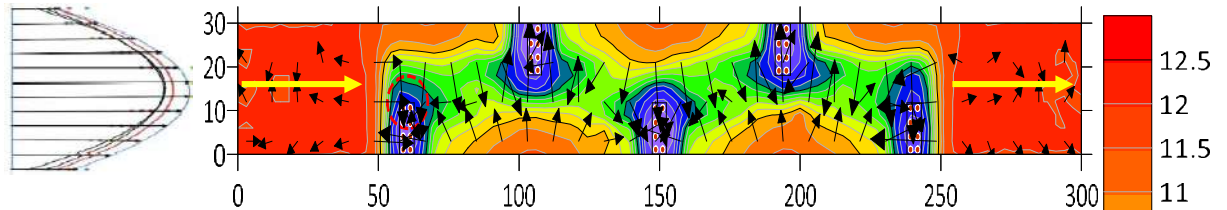
Gambar 75. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_2 , pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k1}



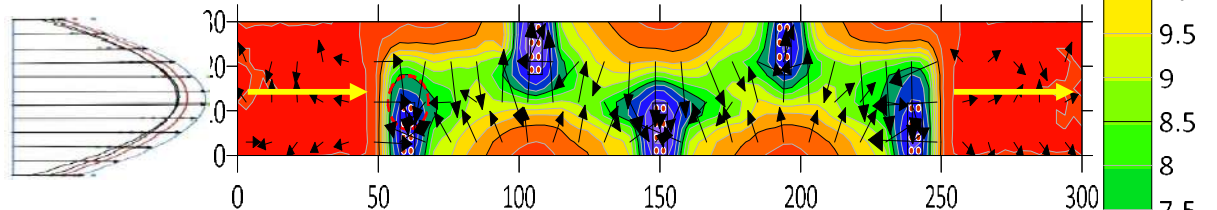
Gambar 76. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_3 , pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k1}

Gambar 74 dengan kemiringan dasar saluran (S_1), **Gambar 75** kemiringan dasar saluran (S_2) dan **Gambar 76** kemiringan dasar saluran (S_3) dengan variasi diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib (L_{k1}) pada debit Q_2 tersebut di atas. Vector pola kecepatan aliran akibat krib permeable mengalami perubahan dengan cenderung terkonsentrasi dibagian tengah saluran. Sedangkan pola kecepatan aliran sebelum dan sesudah titik krib permeabel vector pola kecepatan aliran cenderung merata ke bagian saluran akibat pengaruh kekasaran dinding dan dasar saluran. Penempatan bangunan krib

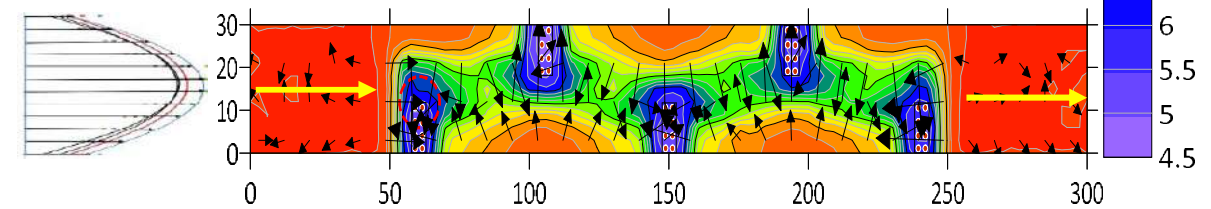
permeable mempengaruhi penurunan kecepatan aliran pada kemiringan dasar saluran rata-rata $S_1 = 16.5098\%$, $S_1 = 10.1870\%$ dan $S_3 = 4.3154\%$. Akan tetapi terjadi fenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Ahmed et al., 2020), (Cea et al., 2007), sehingga terkonsentrasi di sekitar area krib permeable.



Gambar 77. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_1 , pada Q_2 dk_2 k_{k2} L_{k2}



Gambar 78. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_2 , pada Q_2 dk_2 k_{k2} L_{k2}



Gambar 79. Perubahan vector pola kecepatan aliran dengan kemiringan dasar saluran dengan krib permeable S_3 , pada Q_2 dk_2 k_{k2} L_{k2}

Gambar 77 dengan kemiringan dasar saluran (S_1), **Gambar 78** kemiringan dasar saluran (S_2) dan **Gambar 79** kemiringan dasar saluran (S_3) dengan variasi diameter krib (dk_2), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib (L_{k2}) pada debit Q_2 tersebut di atas. Perubahan vector pola kecepatan dengan cenderung terkonsentrasi disekitar area krib permeable dan tengah saluran. Sedangkan vector pola kecepatan aliran sebelum dan sesudah titik krib cenderung merata ke bagian saluran akibat pengaruh kekasaran dinding dan dasar saluran. Penempatan bangunan krib permeable mempengaruhi penurunan kecepatan aliran pada kemiringan dasar saluran rata-rata $S_1 = 15.7155\%$, $S_2 = 8.8971\%$ dan $S_3 = 3.8778\%$. Menyebabkan terjadi fenomena turbulensi aliran (Li, Zeng, & Zha, 2020), (Ahmed et al., 2020), (Cea et al., 2007) sehingga terkonsentrasi di sekitar krib permeabel.

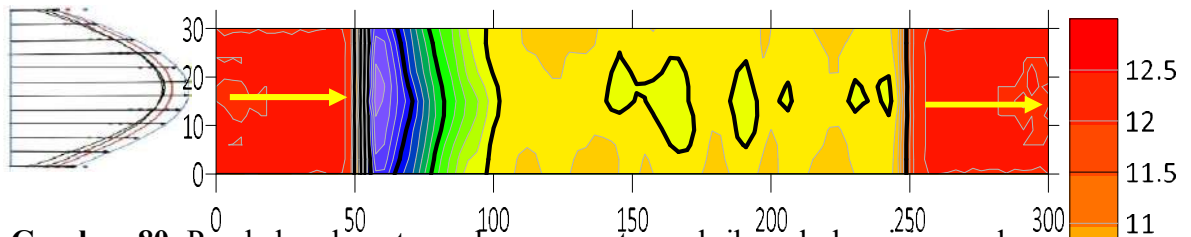
Dampak dengan adanya hambatan aliran dengan krib permeable menyebabkan phenomena turbulensi aliran sehingga menyebabkan adanya resistensi terhadap dasar saluran dengan gerusan disekitar krib permeable. Diperkirakan sebagai konsekuensi peningkatan turbulensi aliran (Constantinescu et al., 2013) dengan didominasi gaya kelembaman (inersia) dan gaya kekentalan (visikositas), sehingga berdampak terhadap kecepatan aliran dan perubahan dasar.

Perubahan pola perubahan kecepatan aliran merupakan indicator utama perubahan morfologi dasar. Karakter aliran akibat krib permeable yang didominasi aliran turbulen dengan gaya kelembaman (gaya inersia) dan kekentalan energi (visikositas) aliran. Penempatan bangunan krib di saluran dengan kondisi kecepatan aliran relative tinggi, tentunya akan menyebabkan resistensi aliran, sehingga mempunyai potensi cukup besar untuk mempengaruhi perubahan karakter aliran. Dengan adanya resistensi aliran menyebabkan terjadinya turbulensi aliran, penomena ini menjadi pemicu menyebabkan mempunyai energy kinetic relative tinggi yang dikonversi dalam bentuk tegangan geser dasar (τ_o), sehingga cenderung mengalami kenaikan sehingga menyebabkan stabilitas dasar saluran terjadi gerusan dan angkutan sedimen dasar maupun sedimen layang (*suspended load*)

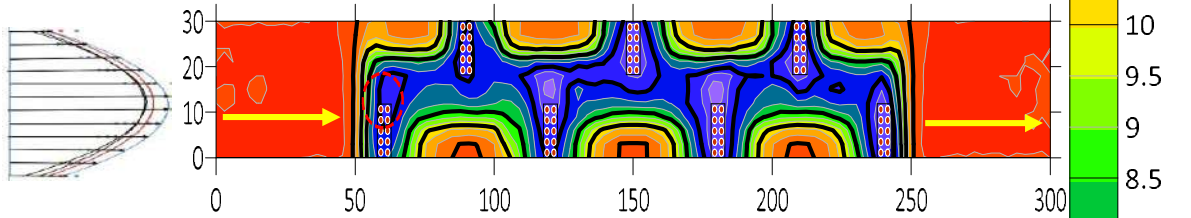
4.4.3 Pola perubahan gerusan dasar saluran akibat variasi jarak krib (L_k), kerapatan krib (k_k), dan diameter krib (d_k) pada pengaliran (Q_2)

Pola perubahan gerusan dasar saluran akibat penempatan bangunan krib permeable dilakukan dengan pendekatan analisis numerik model. Hasil simulasi pola gerusan pada kondisi tanpa krib dengan sedimen (TKDS) pada pengaliran aliran (Q_2) kemiringan dasar saluran (S_2) ditunjukkan pada **Gambar 80**, **Gambar 84**, **Gambar 87**, **Gambar 92** dan kondisi dengan krib dengan sedimen (DKDS) pada diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k1}) dan L_{k2} ditunjukkan pada **Gambar 81**, **Gambar 82**, dan **Gambar 83**. sedangkan **Gambar 85** s.d **Gambar 87** untuk variasi d_{k1} , k_{k1} , L_{k1} dan L_{k2} . Serta **Gambar 89** s.d **Gambar 91** untuk variasi d_{k2} , k_{k1} , L_{k1} dan L_{k2} , dan **Gambar 93** s.d. 95 untuk Q_2 , d_{k2} , k_{k2} , L_{k1} dan L_{k2} . Elevasi dasar saluran dengan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 4.0 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer

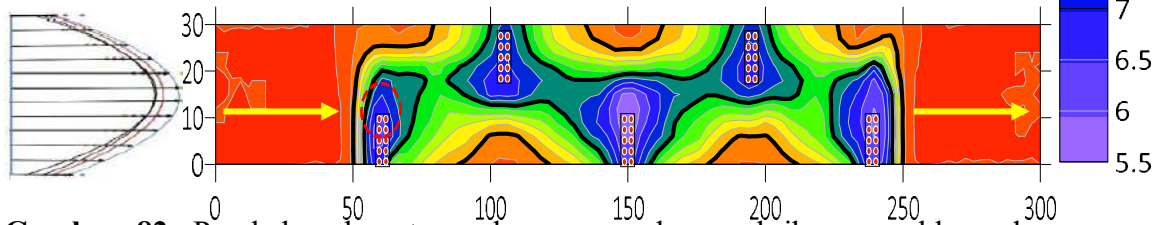
versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Perubahan elevasi dasar menunjukkan kedalaman gerusan menjadi elevasi.



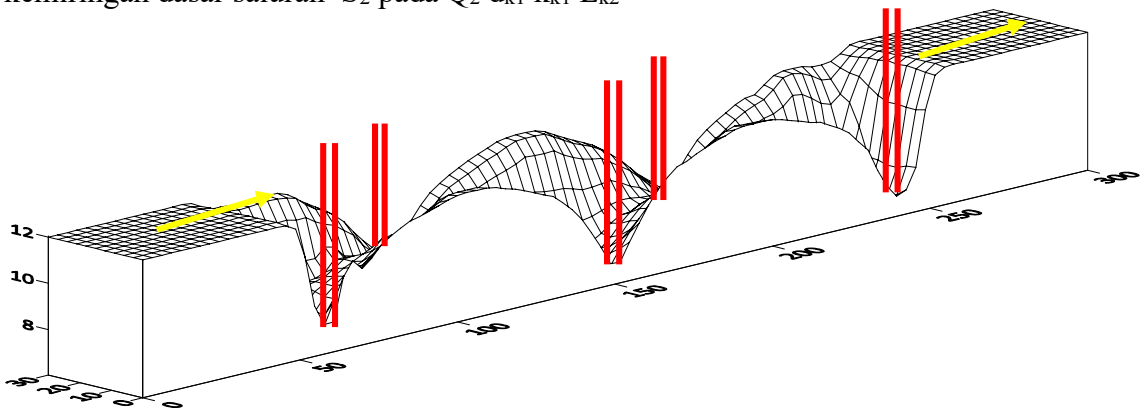
Gambar 80. Perubahan kountur pola gerusan tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S_2 pada debit pengaliran Q_2



Gambar 81. Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k1}



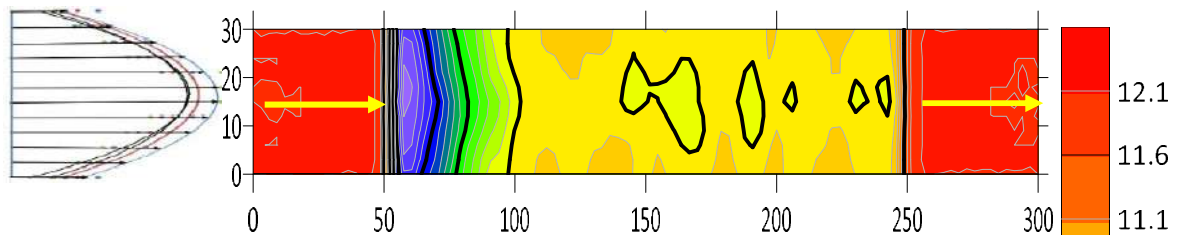
Gambar 82. Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k2}



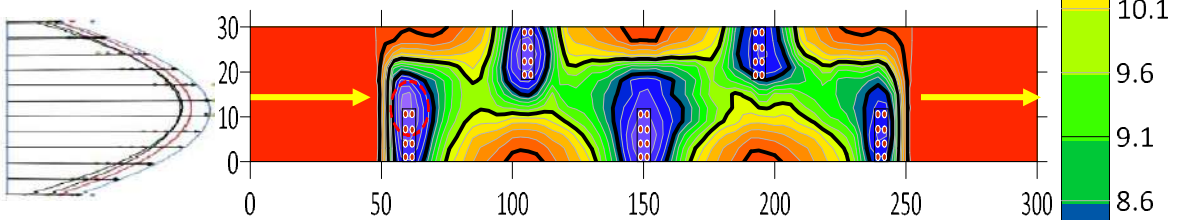
Gambar 83. Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k2}

Gambar 81, s.d. Gambar 83 tersebut di atas, perubahan pola gerusan akibat krib permeable pada variasi kerapatan krib (k_{k1}), diameter krib (d_k), jarak krib (L_{k1}) dan (L_{k2})

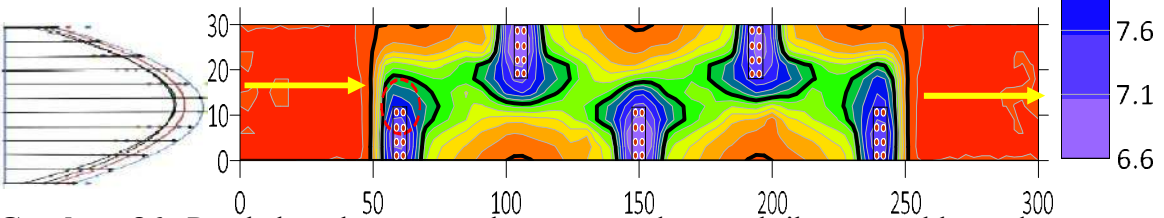
dengan kemiringan dasar saluran S_2 pada debit aliran Q_2 . **Gambar 82** menunjukkan semakin besar jarak krib (L_{k2}) perubahan pola kountur gerusan semakin renggang sedangkan **Gambar 81** sedangkan jarak krib (L_{k1}) yang kecil pola gerusan cenderung lebih rapat. Sedangkan **Gambar 80** tanpa krib pola gerusan lebih cenderung merata ke penampang saluran. **Gambar 83** menunjukkan gerusan terkonsentrasi di area titik krib permeable disebabkan tegangan geser (τ_o) lebih besar dari tegangan geser kritis (τ_c) atau ($\tau_o > \tau_c$). Sementara pada jarak antara krib terjadi pengendapan disebabkan oleh tegangan geser kritis (τ_c) lebih besar dari tegangan geser (τ_o) atau ($\tau_o < \tau_c$). Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 5.5 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Perubahan ini diperkirakan akibat dengan penempatan krib permeable pada saluran dengan kondisi kecepatan relative tinggi menyebabkan terjadi resistensi aliran menyebabkan terjadi gaya geser (Golpira, Huang, et al., 2020) dan gaya hambat sebagai konsekwensi phenomena aliran turbulensi (Koutrouveli et al., 2019).



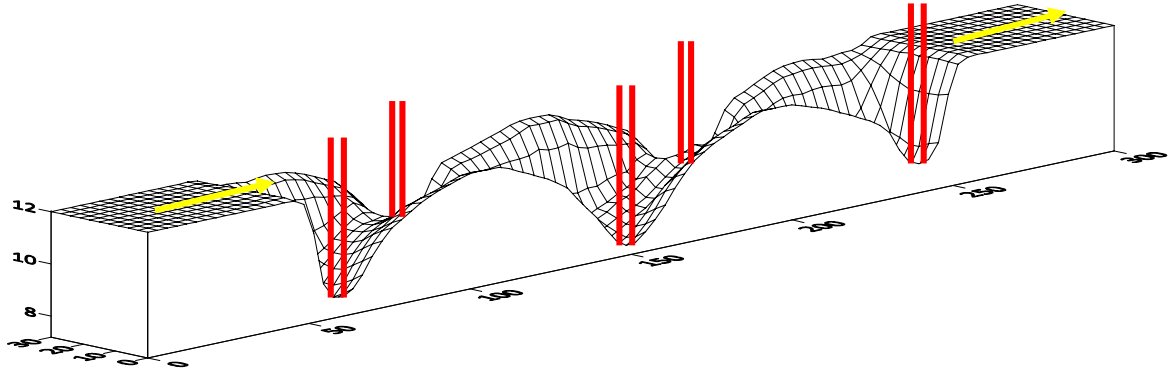
Gambar 84. Perubahan kountur pola gerusan tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S_2 pada debit pengaliran Q_3



Gambar 85. Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_3 d_{k1} k_{k2} L_{k1}

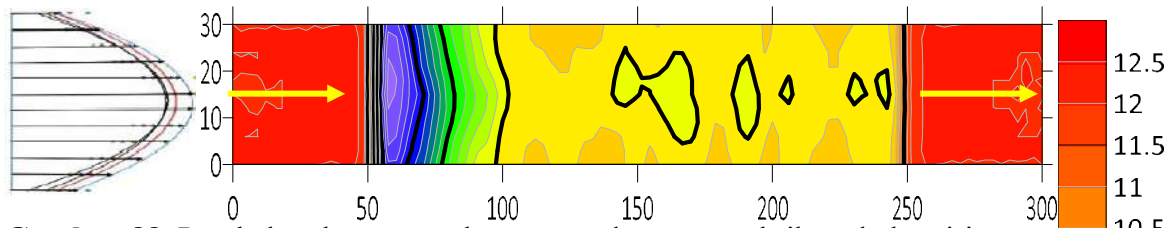


Gambar 86. Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_3 d_{k1} k_{k2} L_{k2}

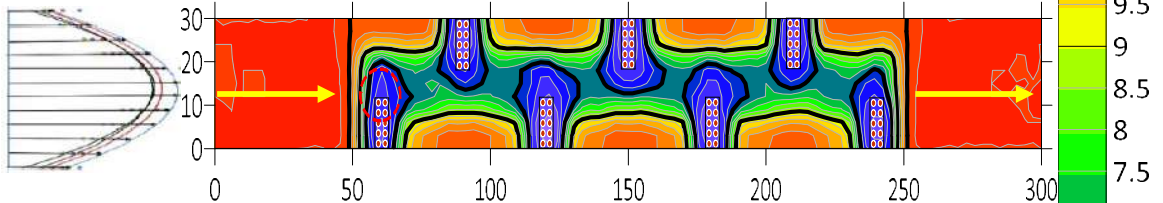


Gambar 87. Perubahan kountur pola gerusan dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k2}

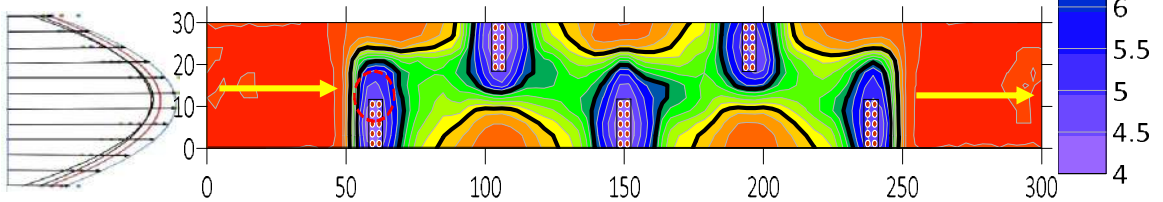
Gambar 85 tanpa krib dengan sedimen menunjukkan pola gerusan hampir merata ke penampang saluran. Sedangkan **Gambar 86**, **Gambar 87** dan **Gambar 88** tersebut di atas dengan diameter krib (d_{k1}), jarak krib (L_{k1}), kerapatan krib (k_{k2}) dan kemiringan dasar saluran S_2 pada debit aliran Q_2 . Perubahan pola gerusan seiring dengan perubahan penempatan krib yang terkonsentrasi di area titik krib permeable. **Gambar 86** menunjukkan semakin besar jarak krib (L_{k2}) menunjukkan pola gerusan semakin renggang dan melebar. **Gambar 85** untuk jarak krib (L_{k1}) yang kecil pola gerusan cenderung rapat. **Gambar 88** menunjukkan bahwa konsentrasi gerusan di titik area krib permeable dan pada jarak krib terjadi pengendapan sedimen. Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.1 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 6.6 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukan elevasi dasar saluran. Terjadinya gerusan disebabkan tegangan geser lebih besar dari tegangan geser kritis ($\tau_o > \tau_c$), sedangkan pada jarak krib terjadi pengendapan disebabkan oleh tegangan geser kritis lebih besar dari tegangan geser ($\tau_c > \tau_o$). Perubahan ini diperkirakan akibat dengan penempatan krib permeable pada saluran dengan kondisi kecepatan relative tinggi menyebabkan terjadi resistensi aliran menyebabkan terjadi gaya geser (Golpira, Huang, et al., 2020) dengan gaya geser kritis, gaya hambat sebagai konsekwensi phenomena aliran turbulensi (Koutrouveli et al., 2019). (Matinfard et al., 2013).



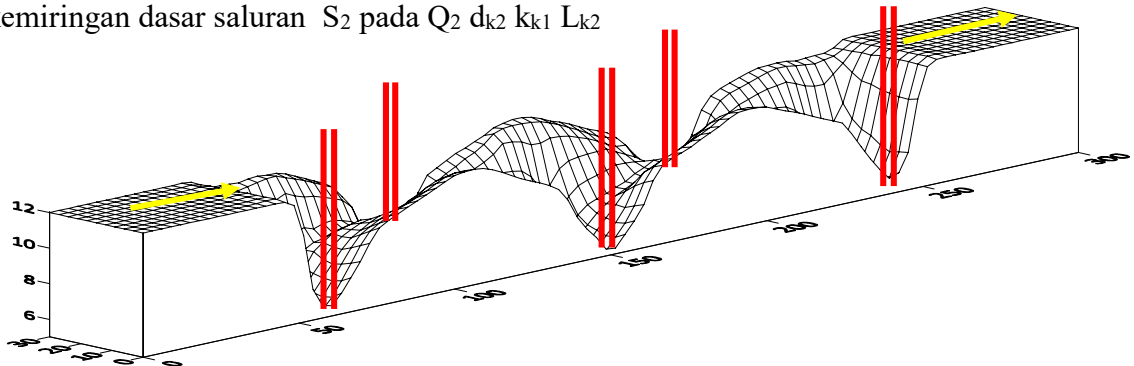
Gambar 88. Perubahan kountur pola gerusan dasar tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S_2 pada debit pengaliran Q_2 .



Gambar 89. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k1}



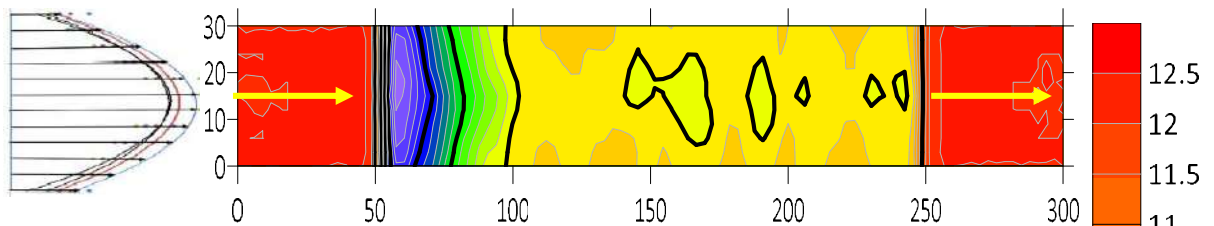
Gambar 90. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k2}



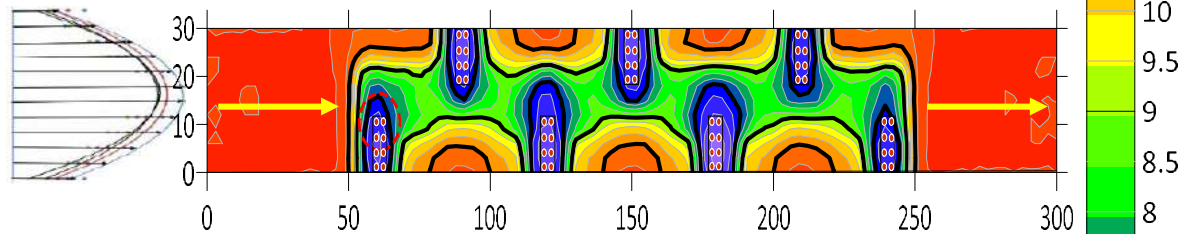
Gambar 91. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k2}

Gambar 88 s.d Gambar 91 di atas bahwa dengan variasi d_{k2} , k_{k1} , L_{k1} dan L_{k2} pada kemiringan S_2 , pada debit pengaliran Q_2 . **Gambar 91** menunjukkan bahwa semakin besar jarak krib (L_{k2}) menunjukkan pola kountur gerusan semakin renggang. Sedangkan **Gambar 90** dengan jarak krib (L_{k1}) yang kecil pola kountur gerusan cenderung rapat. **Gambar 88** tanpa krib pola gerusan merata ke penampang saluran. **Gambar 91** menunjukkan konsentrasi gerusan di area titik krib permeable disebabkan oleh resistensi turbulensi aliran dengan tegangan geser lebih besar dari tegangan geser kritis ($\tau_o > \tau_c$).

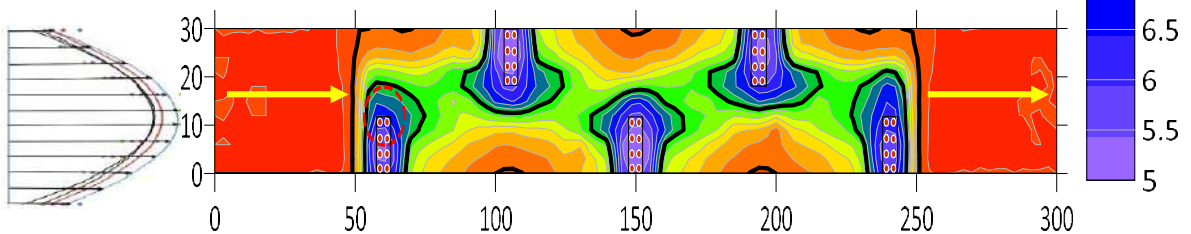
Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 4.0 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Sedangkan jarak antara krib lainnya terjadi endapan (*agradasi*) sedimen disebabkan oleh karena tegangan geser kritik lebih besar dari tegangan geser ($\tau_o < \tau_c$). Phenomena turbulensi aliran ini diperkirakan dipengaruhi oleh resistensi aliran akibat hambatan aliran pada kondisi kecepatan aliran relative tinggi (Nyantekyi-Kwakye et al., 2019), terjadi resistensi tegangan geser (τ_o) meningkat (Golpira, Huang, et al., 2020) dan tegangan geser kritik (τ_c) cenderung statis dan kecepatan geser (u^*) menyebabkan gerusan (Choufu et al., 2019) di sekitar area krib permeable.



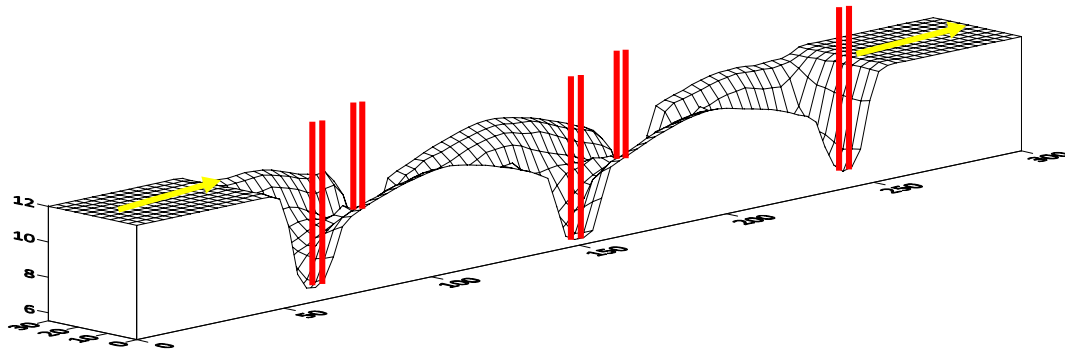
Gambar 92. Perubahan kountur pola gerusan dasar tanpa krib pada kemiringan dasar saluran S_2 pada debit pengaliran Q_2



Gambar 93. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada variasi Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k1}



Gambar 94. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada variasi Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k2}



Gambar 95. Perubahan pola kountur gerusan dasar dengan krib permeable pada kemiringan dasar saluran S_2 pada variasi Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k2}

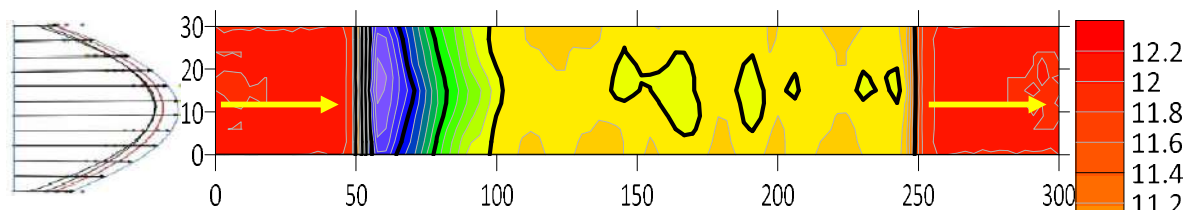
Gambar 93 s.d. **Gambar 94** di atas menunjukkan pola kountur perubahan gerusan dengan kemiringan dasar saluran (S_2), diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib L_{k1} dan L_{k2} pada debit aliran Q_2 . Sedangkan **Gambar 92** tanpa krib dengan sedimen menunjukkan pola kountur gerusan hampir merata ke penampang saluran. **Gambar 94** menunjukkan semakin besar jarak krib (L_{k2}) menunjukkan pola kountur gerusan semakin renggang. **Gambar 93** dengan jarak krib (L_{k1}) yang kecil pola kountur gerusan cenderung rapat. Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 5.0 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. **Gambar 95** menunjukkan bahwa gerusan terkonsentrasi di area titik krib permeable, disebabkan oleh resistensi turbulensi aliran dengan tegangan geser (τ_o) lebih besar dari tegangan geser kritis (τ_c) ($\tau_o > \tau_c$). Sedangkan pada area jarak antara krib permeable lainnya terjadi pengendapan (agradasi) disebabkan oleh tegangan geser lebih kecil dari tegangan geser kritis ($\tau_o < \tau_c$). Bahwa penempatan bangunan krib permeable pada saluran terbuka menunjukkan adanya fenomena resistensi turbulensi (Rodi, 2017) aliran dapat meningkatkan tegangan geser (Golpira, Huang, et al., 2020) sehingga berdampak terhadap gerakan sedimen disekitar area titik krib (Choufu et al., 2019), (Agyei & Gordon, 2017) sedangkan pada space krib dengan lainnya mengalami pengendapan (agradasi).

Perubahan pola kountur gerusan dasar saluran didominasi kecepatan aliran dan aliran turbulen dimana gaya inersia mempunyai energy kinetic sehingga menyebabkan stabilitas dasar saluran terganggu sehingga terjadi gerusan dan angkutan sedimen dasar maupun sedimen layang. Jika tegangan geser (τ_o) lebih besar dengan tegangan geser kritis (τ_c), maka terjadi gerakan sedimen sedangkan pada posisi jarak krib lainnya terjadi

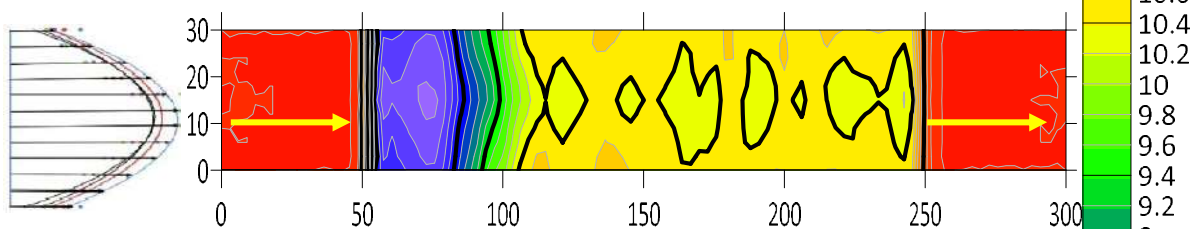
sebaliknya sehingga terjadi pengendapan sedimen karena ($\tau_o < \tau_c$) sehingga sedimen cenderung diam atau mengendap (*agradasi*).

4.4.4 Perubahan Pola gerusan dasar saluran akibat variasi kemiringan saluran (S_o) pada jarak krib (L_k), kerapatan krib (k_k), dan diameter krib (d_k)

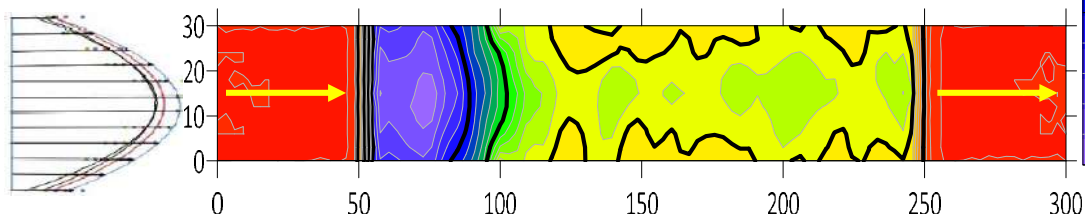
Pengaruh variasi kemiringan dasar saluran (S_o) terhadap pola gerusan ditunjukkan pada **Gambar 96** s.d. **Gambar 99** tanpa krib permeable dengan sedimen (TKDS) pada variasi kemiringan (S_1, S_2, S_3). Sedangkan pola gerusan dengan krib dengan sedimen (DKDS) **Gambar 100** s.d. **Gambar 131** dengan variasi kemiringan (S_1, S_2, S_3) pada krib permeable diameter krib (d_k), kerapatan krib (k_k) dan jarak krib (L_k) pada Q_2 . Elevasi dasar saluran dengan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 5.0 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Perubahan elevasi dasar menunjukkan kedalaman gerusan menjadi elevasi, berikut ini.



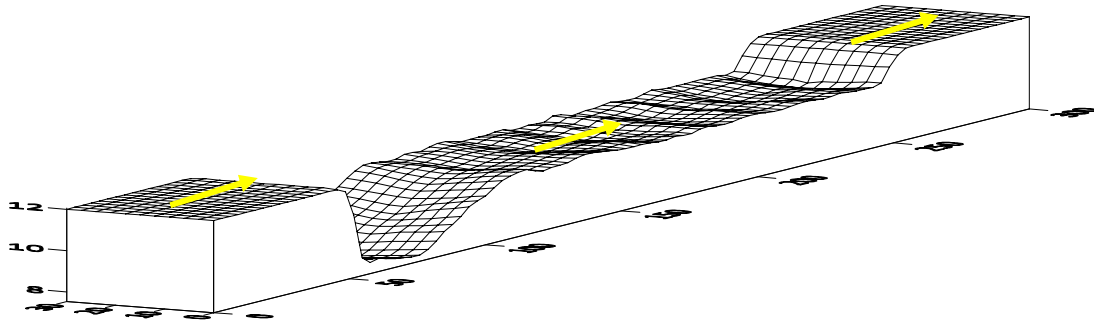
Gambar 96. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_1 tanpa krib permeable dengan sedimen pada debit aliran Q_2



Gambar 97. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_2 tanpa krib permeable dengan sedimen pada debit aliran Q_2

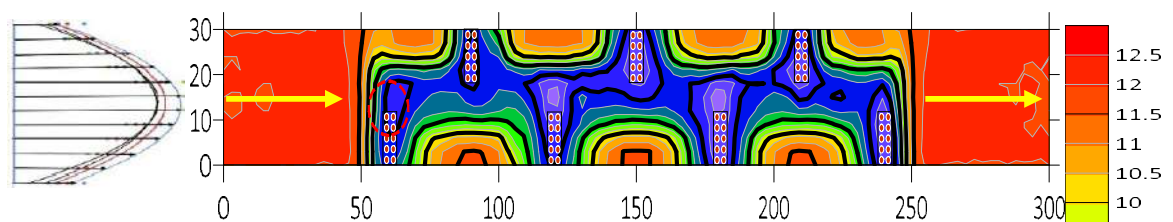


Gambar 98. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 tanpa krib permeable dengan sedimen pada debit aliran Q_2

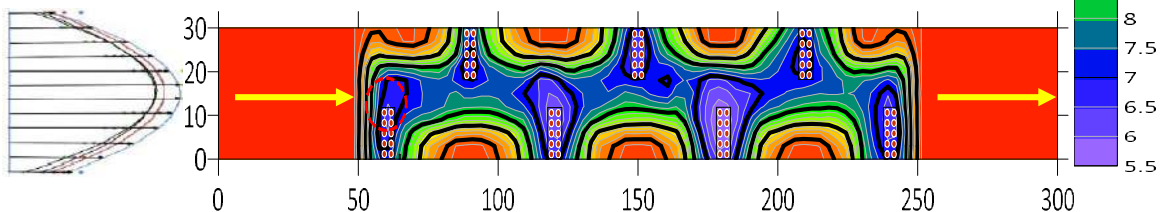


Gambar 99. Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 tanpa krib permeable dengan sedimen pada debit aliran Q_2

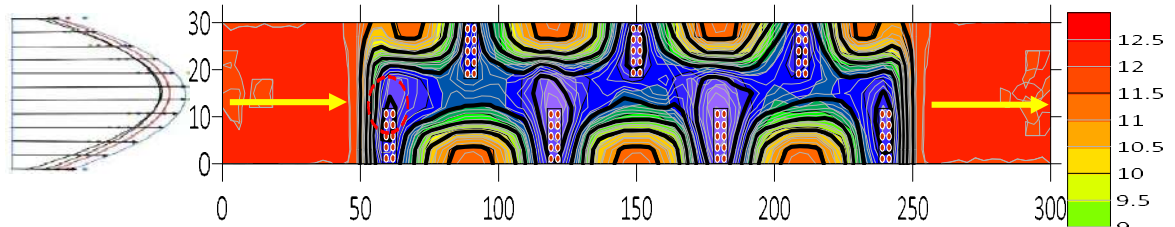
Gambar 96 perubahan kountur pola gerusan pada kemiringan dasar saluran S_1 , **Gambar 97** perubahan kountur pola gerusan dengan kemiringan dasar saluran S_2 , **Gambar 98** perubahan kountur pola gerusan dengan kemiringan dasar saluran S_3 pada debit aliran Q_2 tanpa krib permeabel dengan sedimen. **Gambar 99** menunjukkan kountur pola gerusan hampir merata di sepanjang penampang saluran pada area sedimen (tanah), sedangkan bagian hulu dan hilir tanpa sedimen stabil kountur pola gerusan. Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.2 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 7.4 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Kemiringan dasar saluran merupakan factor penting dalam perubahan morfologi sungai yang berhubungan dengan sedimentasi, fungsi hidrolis dan fungsi ekologi. *Degradasi* terjadi akibat debit solid yang datang lebih kecil daripada kemampuan angkutan sedimennya. Perubahan pola gerusan tanpa krib permeable hampir terjadi seluruh penampang saluran pada area sedimen. Kejadian ini seiring dengan perubahan pola kecepatan akibat factor kekasaran dasar saluran sedimen (tanah).



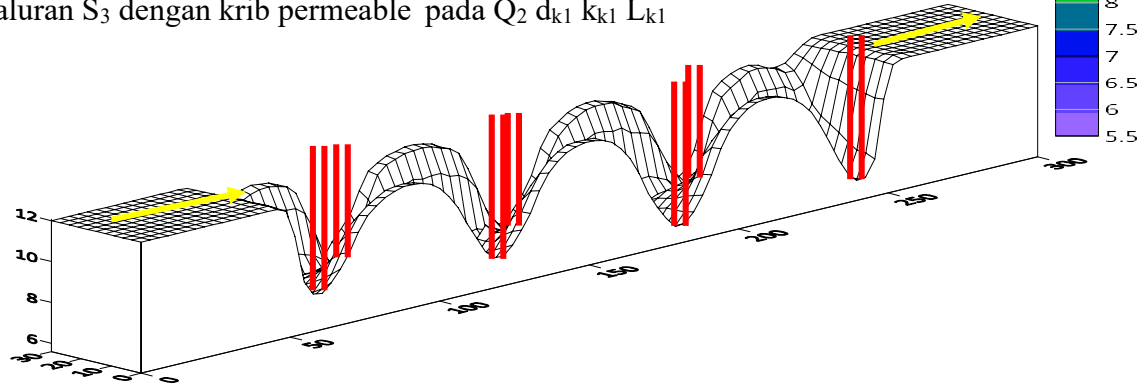
Gambar 100. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_1 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k1}



Gambar 101. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_2 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k1}

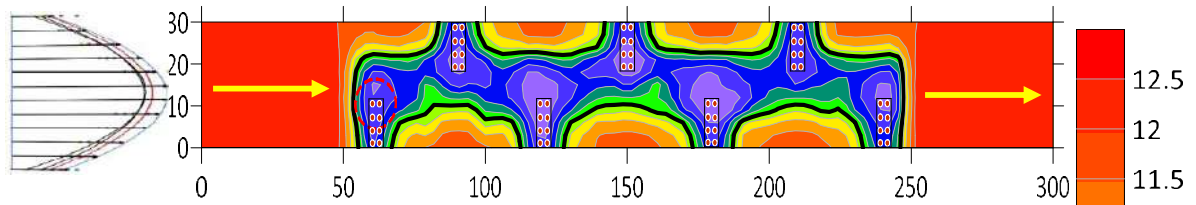


Gambar 102. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k1}

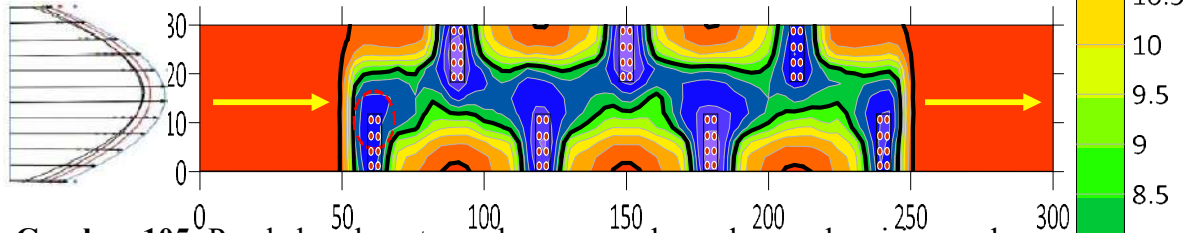


Gambar 103. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k1}

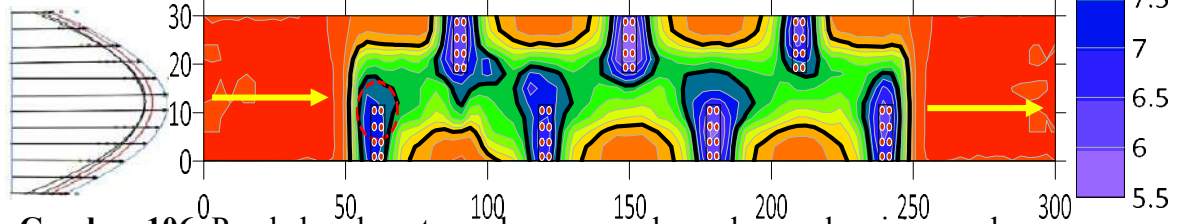
Perubahan kountur pola gerusan dengan perlakuan krib permeable dengan kemiringan dasar saluran (S_1) **Gambar 100**, kemiringan dasar saluran (S_2) **Gambar 101**, kemiringan dasar saluran **Gambar 102** dan **Gambar 104** kemiringan dasar saluran (S_3) dengan variasi diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k1}) pada debit aliran Q_2 . Perubahan pola gerusan akibat krib, dimana konsentrasi gerusan di area titik krib permeable. Sedangkan semakin besar kemiringan dasar saluran menunjukkan pola gerusan cenderung lebih rapat artinya gerusan tinggi dan angkutan sedimen semakin tinggi. Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 5.5 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran.. Penempatan bangunan krib permeable pada saluran terbuka menunjukkan adanya fenomena resistensi turbulensi (Rodi, 2017) aliran dapat meningkatkan tegangan geser (Golpira, Huang, et al., 2020). **Gambar 100** menunjukkan konsentrasi gerusan terpusat di area titik krib permeable disebabkan tegangan geser lebih besar dengan tegangan geser kritis ($\tau_o > \tau_c$) akibat tekanan fenomena turbulensi aliran oleh hambatan aliran dengan krib permeable. Sedangkan pada jarak antara krib dengan lainnya terjadi pengendapan (*agradasi*) disebabkan tegangan geser kritis τ_c lebih besar dengan tegangan geser τ_o , ($\tau_o < \tau_c$) sehingga sedimen diam atau mengendap (*agradasi*).



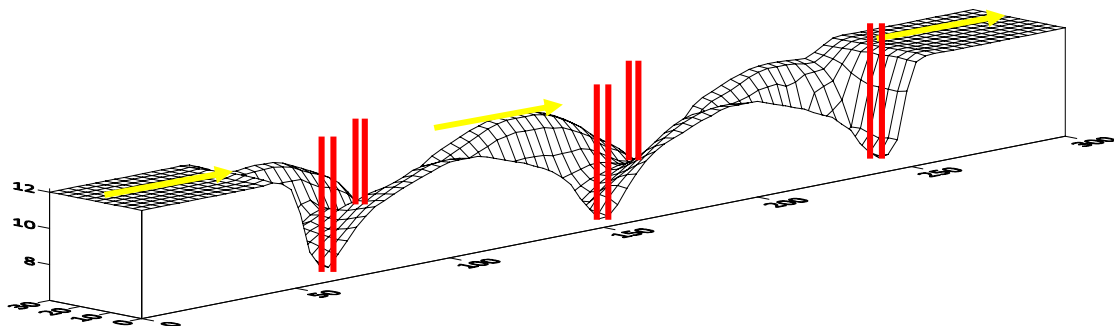
Gambar 104. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_1 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k2}



Gambar 105. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_2 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k1} a_{k1} L_{k2}



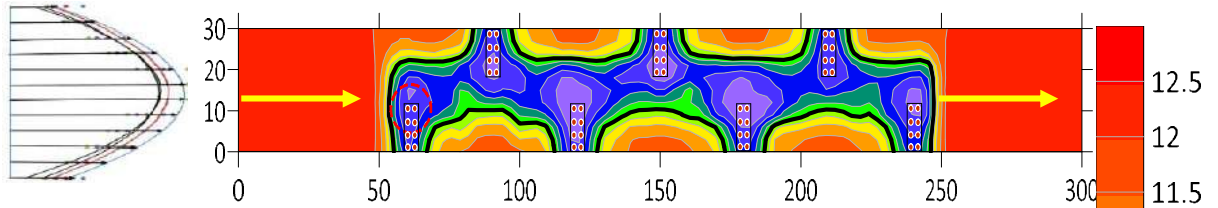
Gambar 106. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k1} k_{k1} L_{k2}



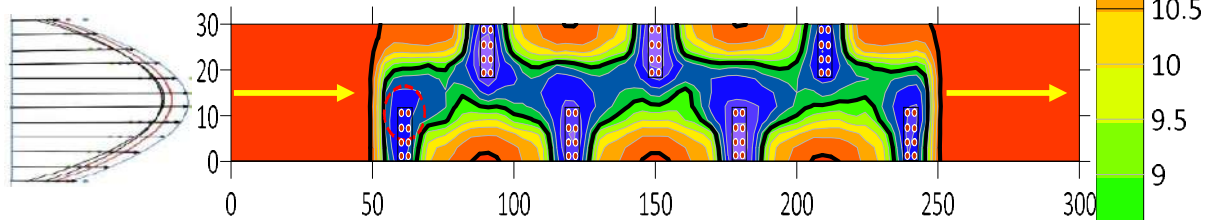
Gambar 107. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k1} a_{k1} L_{k2}

Gambar 104 dengan kemiringan dasar saluran S_1 , **Gambar 105** kemiringan dasar saluran S_2 , **Gambar 106** kemiringan dasar saluran S_3 dengan variasi diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k2}) pada debit aliran Q_2 . Bahwa semakin besar kemiringan dasar saluran menunjukkan pola kountur gerusan semakin melebar dan semakin rapat berarti angkutan sedimen semakin besar. **Gambar 107** dengan variasi kemiringan dasar saluran S_3 , diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k2}) pada debit aliran Q_2 menunjukkan kountur pola gerusan terpusat di area titik krib permeable. Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 5.5 cm (warna

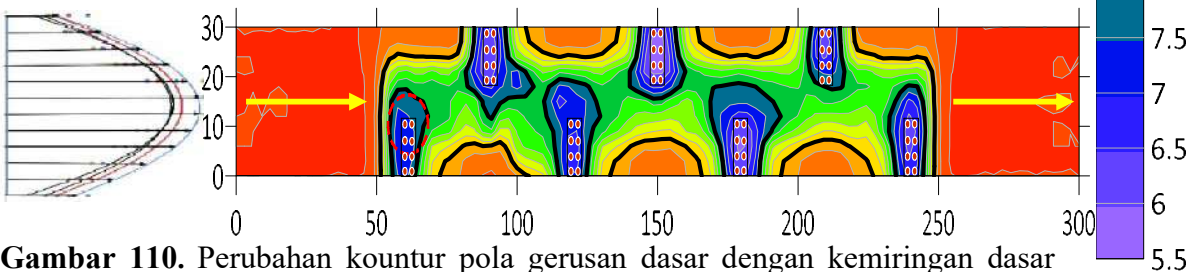
ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Hal ini menunjukkan semakin besar kemiringan dasar saluran menyebabkan peningkatan resistensi turbulensi aliran semakin tinggi. Penempatan bangunan krib permeable menunjukkan adanya fenomena resistensi turbulensi (Rodi, 2017) aliran dapat meningkatkan tegangan geser (Golpira, Huang, et al., 2020). Terjadinya gerusan disebabkan oleh tegangan geser (τ_o) lebih besar dari tegangan geser kritis (τ_c) atau ($\tau_o > \tau_c$). Sedangkan pada jarak antara krib lainnya sedimen cenderung diam atau mengendap (*agradasi*) atau ($\tau_o < \tau_c$).



Gambar 108. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_1 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k1} ak_2 L_{k1}



Gambar 109. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_2 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k1}

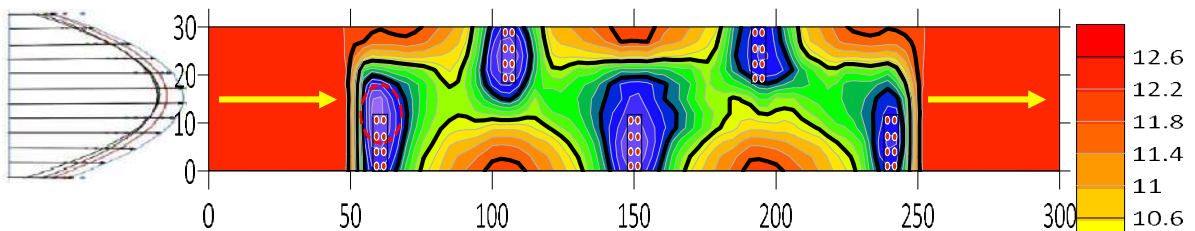


Gambar 110. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k1}

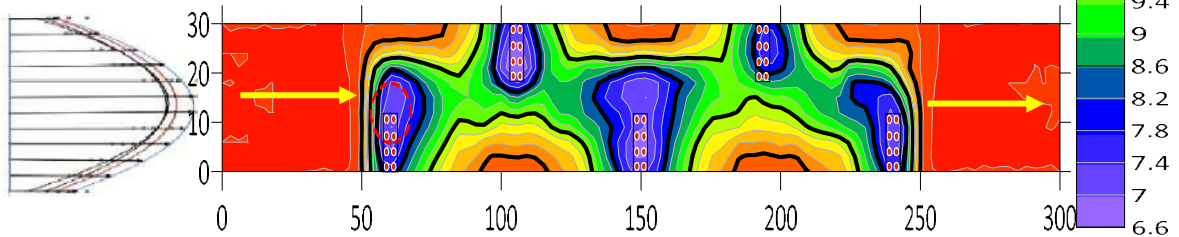


Gambar 111. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k1}

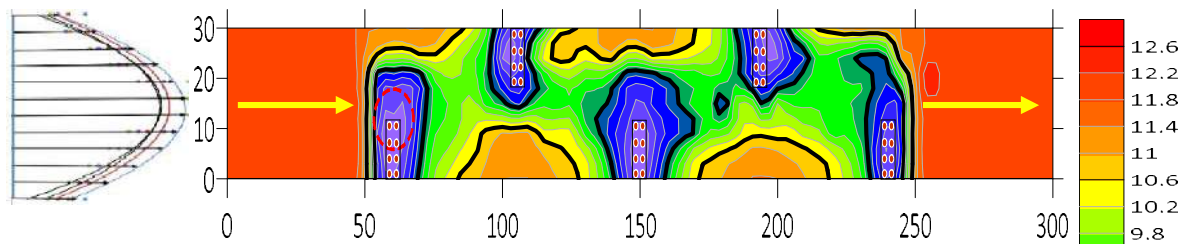
Gambar 108 dengan kemiringan dasar saluran (S_1), **Gambar 109** dengan kemiringan dasar saluran S_2 , **Gambar 110** dengan kemiringan dasar saluran S_3 pada variasi diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib (L_{k1}) pada debit aliran Q_2 . dan **Gambar 111**. Menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan dasar saluran terjadi perubahan kountur pola gerusan semakin rapat dan melebar serta angkutan sedimen semakin besar. Perubahan ini disebabkan penempatan bangunan krib permeable terjadinya fenomena resistensi turbulensi (Rodi, 2017) aliran dapat meningkatkan tegangan geser (Golpiri, Huang, et al., 2020). **Gambar 109** kemiringan dasar saluran (S_3) dengan variasi d_{k1} k_{k2} L_{k1} pada debit aliran Q_2 . Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 5.5 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Konsentrasi gerusan di area titik krib permeabe disebabkan oleh resistensi turbulensi aliran sebagai akibat peningkatan energi kecepatan aliran. Pergerakan sedimen disebabkan oleh tegangan geser dasar (τ_o) lebih besar dari tegangan geser kritis (τ_c) atau ($\tau_o > \tau_c$), sedangkan pada jarak krib dengan lainnya sedimen cenderung diam atau mengendap (*agradasi*), hal ini disebabkan tegangan geser kritis (τ_c) lebih besar dari tegangan geser (τ_o) atau ($\tau_o < \tau_c$).



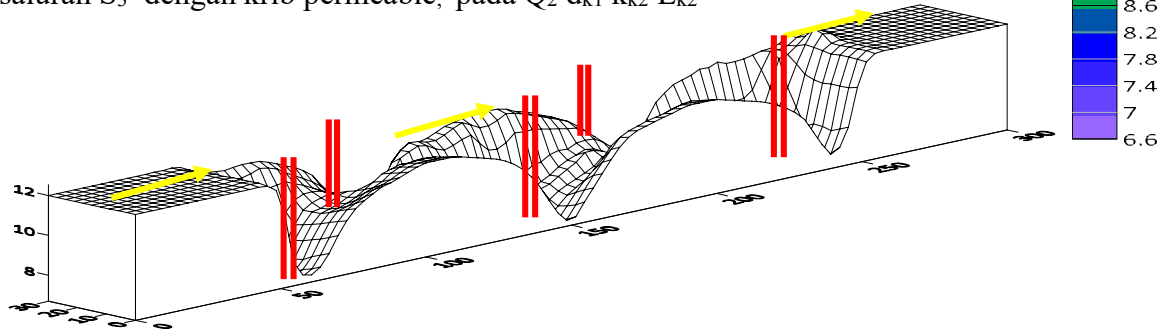
Gambar 112. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_1 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k2}



Gambar 113. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_2 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k2}

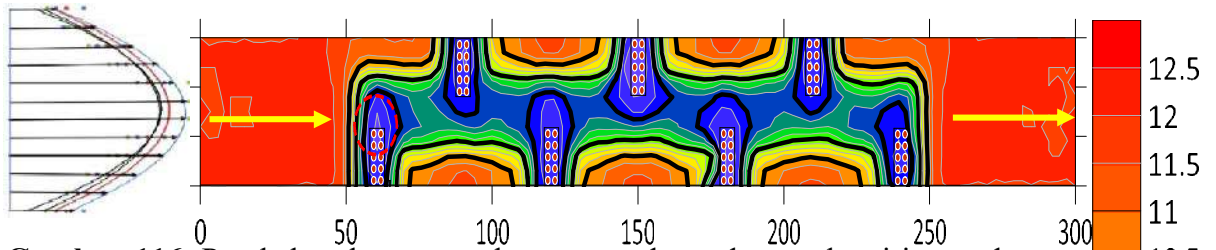


Gambar 114. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k2}

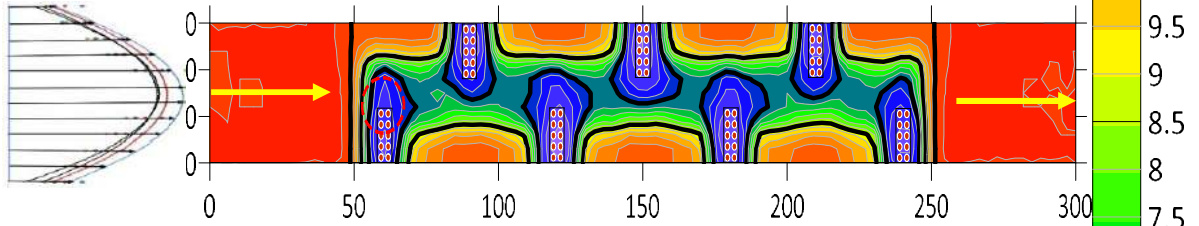


Gambar 115. Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k1} k_{k2} L_{k2}

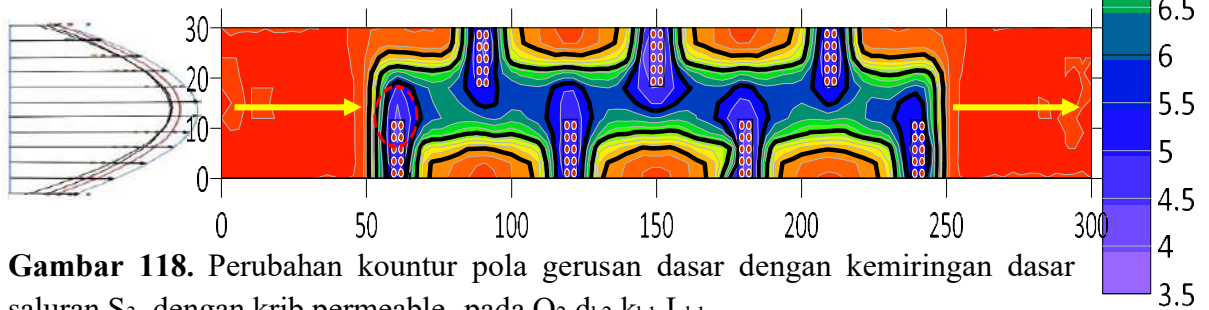
Gambar 112 kemiringan dasar saluran S_1 , **Gambar 113** kemiringan dasar saluran S_2 , **Gambar 114** kemiringan dasar saluran S_3 , dengan diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib (L_{k2}) pada debit aliran Q_2 , dan **Gambar 115** Bahwa semakin besar kemiringan dasar saluran menunjukkan pola gerusan cenderung lebih rapat dan melebar artinya gerusan tinggi dan angkutan sedimen semakin tinggi pada variasi d_{k1} k_{k2} L_{k2} . Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.6 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 5.6 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Hal ini dipengaruhi oleh meningkatnya resistensi turbulensi aliran. Penempatan bangunan krib permeable pada saluran terbuka menyebabkan terjadi fenomena resistensi turbulensi aliran (Rodi, 2017), berpotensi meningkatkan tegangan geser (τ_o) (Golpira, Huang, et al., 2020), (Ahmed et al., 2020), sehingga berdampak terhadap gerakan sedimen disekitar area titik krib permeable. Sedangkan pada jarak krib dengan lainnya sedimen cenderung diam atau terjadi pengendapan (*agradasi*). Jika tegangan geser (τ_o) lebih besar dari tegangan geser kritis ($\tau_o > \tau_c$), maka terjadi gerakan sedimen sedangkan pada jarak krib dengan yang lain terjadi pengendapan (*agradasi*), atau sedimen diam disebabkan oleh tegangan geser kritis (τ_c) lebih besar dari tegangan geser ($\tau_o < \tau_c$).



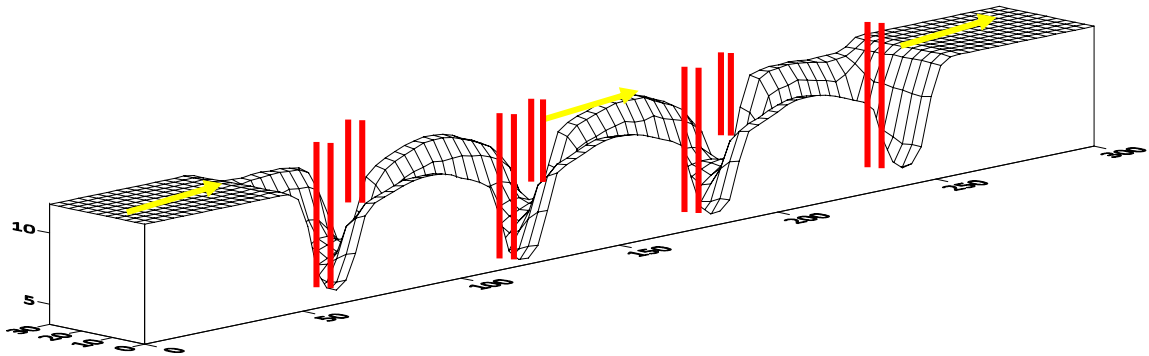
Gambar 116. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_1 dengan krib permeable pada Q_2 dk_2 k_{k1} L_{k1}



Gambar 117. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_2 dengan krib permeable pada Q_2 dk_2 k_{k1} L_{k1}



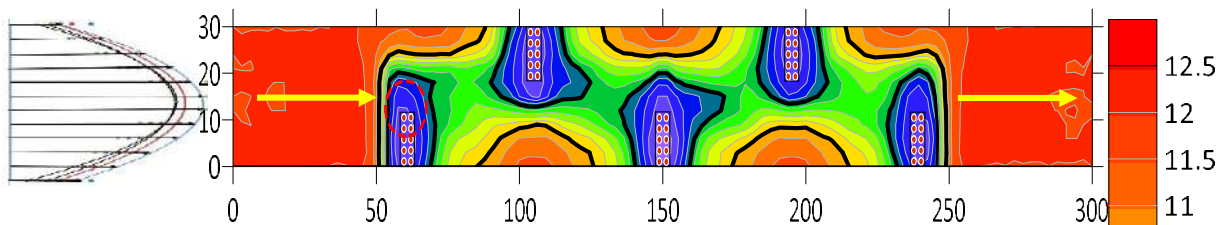
Gambar 118. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 dk_2 k_{k1} L_{k1}



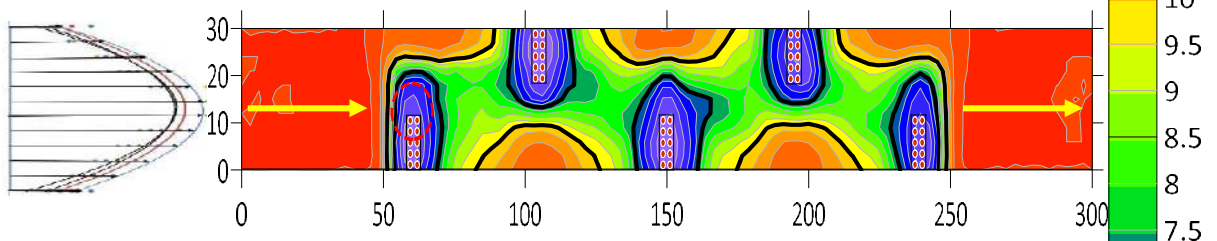
Gambar 119. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 dk_2 k_{k1} L_{k1}

Gambar 113 kemiringan dasar saluran S_1 , **Gambar 114** kemiringan dasar saluran S_2 , **Gambar 115** kemiringan dasar saluran S_3 diameter krib (dk_2), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k1}) pada debit aliran Q_2 , dan **Gambar 119**. Hal ini menunjukkan semakin besar kemiringan dasar saluran menunjukkan pola gerusan cenderung lebih rapat artinya

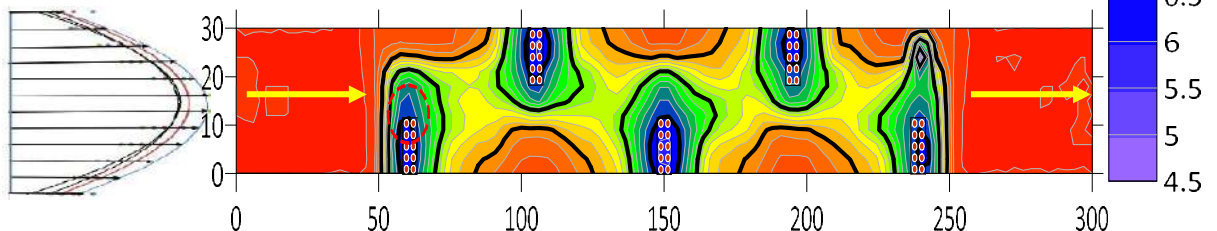
gerusan tinggi dan angkutan sedimen semakin tinggi pada variasi S_3 , d_{k1} k_{k2} L_{k1} . Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 3.5 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Hal dipengaruhi oleh meningkatnya resistensi turbulensi aliran akibat semakin besar kemiringan dasar sebagai konsekwensi tekanan energi aliran. Penempatan bangunan krib permeable pada saluran terbuka menunjukkan adanya fenomena resistensi turbulensi (Rodi, 2017) aliran dapat meningkatkan tegangan geser (Golpira, Huang, et al., 2020), (Ahmed et al., 2020). Gambar 117 menunjukkan konsentrasi gerusan terpusat disekitar area titik krib sedangkan pada jarak krib dengan lainnya mengalami pengendapan (*agradasi*). Jika tegangan geser lebih besar dengan tegangan geser kritik ($\tau_o > \tau_c$), maka terjadi gerakan sedimen sedangkan pada posisi jarak krib dengan yang lain terjadi pengendapan sedimen (*agradasi*), disebabkan oleh tegangan geser kritik lebih besar dari tegangan geser ($\tau_o < \tau_c$).



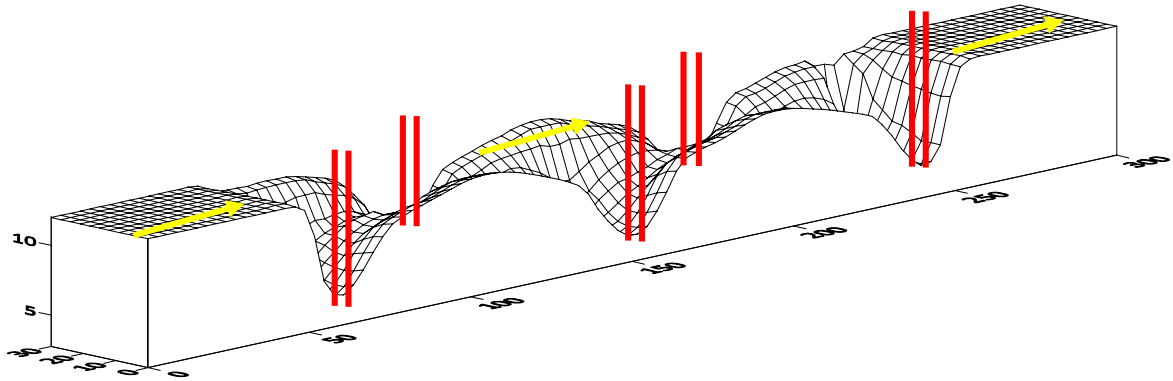
Gambar 120. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_1 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k2}



Gambar 121. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_2 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k2}

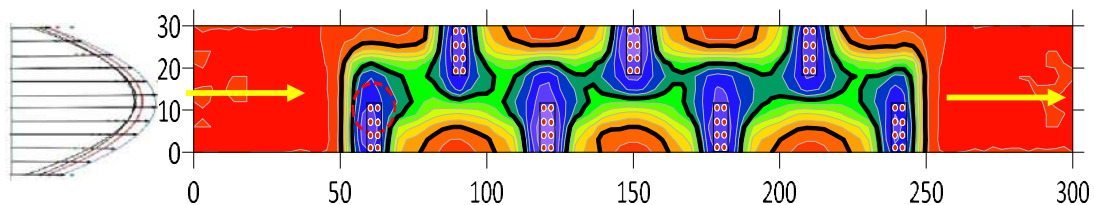


Gambar 122. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k2}

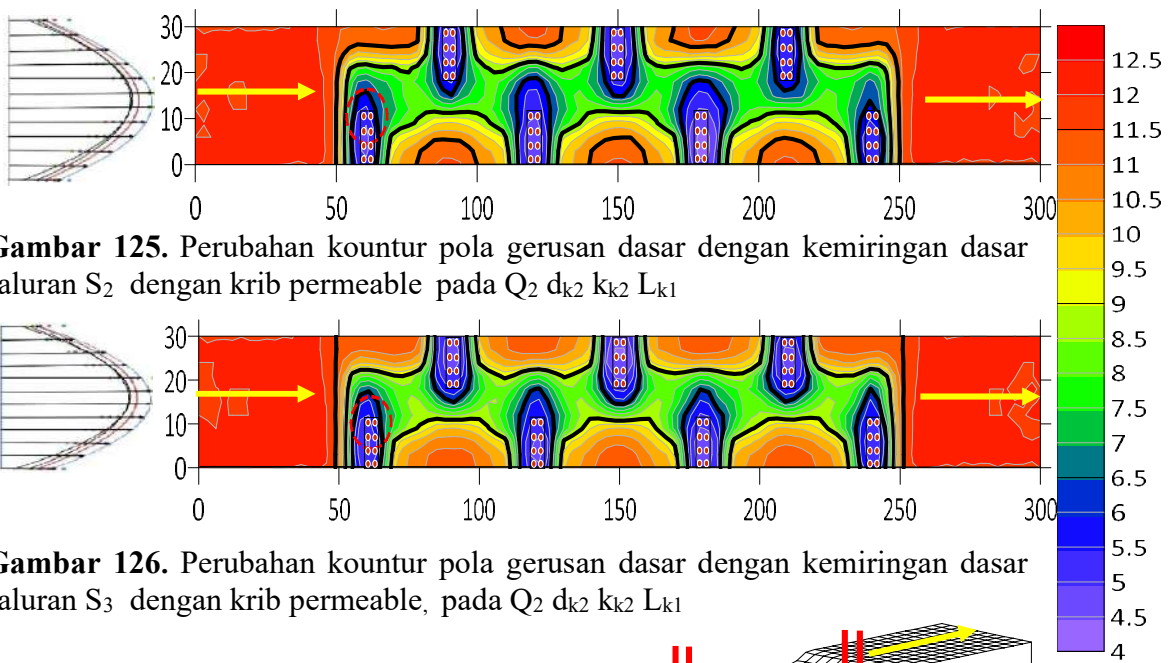


Gambar 123. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k2} k_{k1} L_{k2}

Gambar 120 kemiringan dasar saluran S_1 , **Gambar 121** kemiringan dasar saluran S_2 , **Gambar 122** kemiringan dasar saluran S_3 dengan diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k1}), jarak krib (L_{k2}) pada debit aliran Q_2 , dan **Gambar 123**. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan dasar saluran menunjukkan kountur pola gerusan cenderung lebih rapat artinya gerusan tinggi dan angkutan sedimen semakin tinggi pada variasi d_{k1} k_{k2} L_{k2} . Penempatan bangunan krib permeable pada saluran terbuka menunjukkan adanya fenomena resistensi turbulensi (Rodi, 2017) aliran dapat meningkatkan tegangan geser (Golpira, Huang, et al., 2020), (Ahmed et al., 2020), (Koutrouveli et al., 2019). **Gambar 123** menunjukkan konsentrasi gerusan di sekitar area titik krib permeabel sedangkan pada jarak krib dengan lainnya mengalami pengendapan (*agradasi*). Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 4.5 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Jika tegangan geser (τ_o) lebih besar dengan tegangan geser kritis (τ_c), maka terjadi gerakan sedimen ($\tau_o > \tau_c$), sedangkan pada posisi jarak krib dengan yang lain terjadi pengendapan sedimen cenderung diam atau mengendap (*agradasi*), disebabkan oleh tegangan geser kritis lebih besar dari tegan geser $\tau_o < \tau_c$).

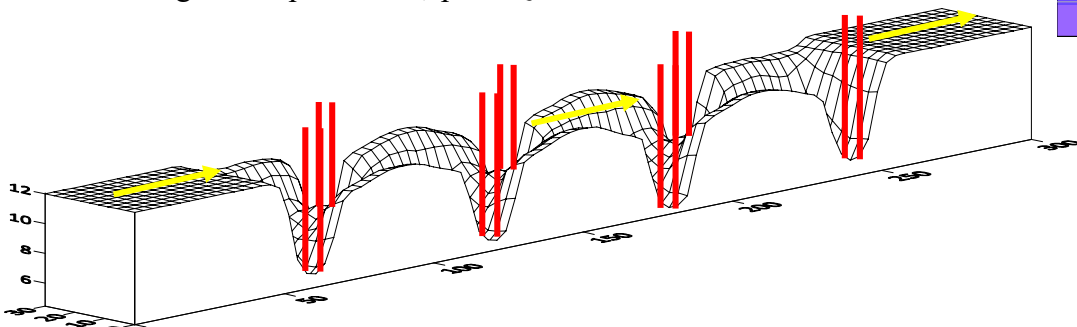


Gambar 124. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_1 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k1}



Gambar 125. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_2 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k1}

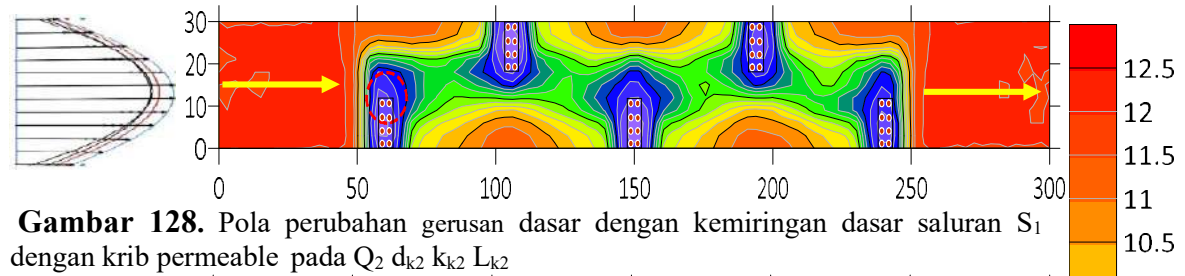
Gambar 126. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k1}



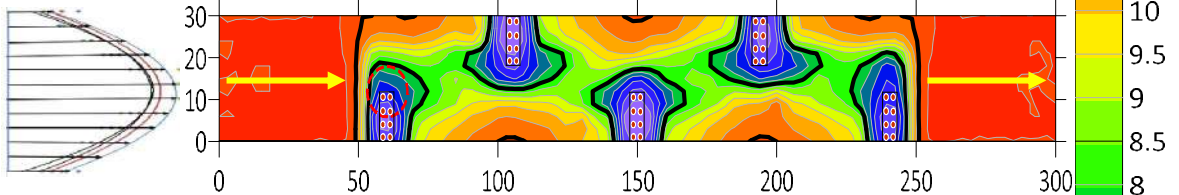
Gambar 127. Perubahan kountur pola gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k1}

Gambar 124 kemiringan dasar saluran S_1 , **Gambar 125** kemiringan dasar saluran S_2 , **Gambar 126** kemiringan dasar saluran S_3 dengan diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib (L_{k1}) pada debit aliran Q_2 . Bahwa semakin besar kemiringan dasar saluran menunjukkan pola gerusan cenderung lebih rapat artinya gerusan tinggi dan angkutan sedimen semakin tinggi pada variasi d_{k2} k_{k2} L_{k1} dengan kemiringan dasar saluran S_3 . **Gambar 127** menunjukkan konsentrasi gerusan terpusat di area krib permeable, hal ini disebabkan oleh tegangan geser (τ_o) lebih besar dengan tegangan geser kritis (τ_c), maka terjadi gerakan sedimen ($\tau_o > \tau_c$). Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 4.0 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Sedangkan pada posisi jarak krib dengan yang lain terjadi pengendapan sedimen, disebabkan oleh karena tegangan geser kritis lebih besar dengan tegangan geser ($\tau_o < \tau_c$), sehingga sedimen cenderung diam atau

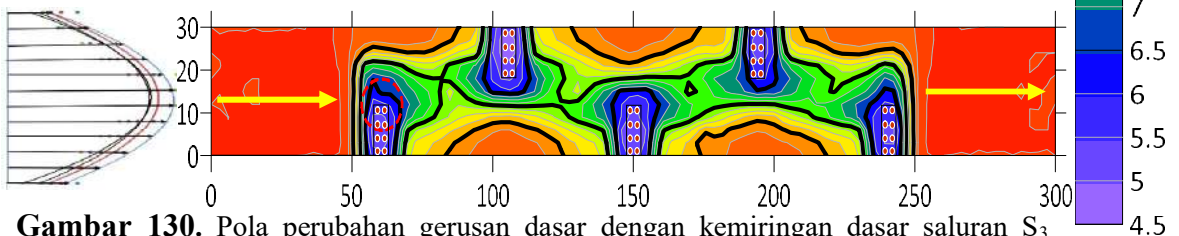
mengendap (*agradasi*). Penempatan bangunan krib permeable pada saluran menunjukkan adanya fenomena resistensi turbulensi (Rodi, 2017), (Cea et al., 2007) aliran dapat meningkatkan tegangan geser (Golpira, Huang, et al., 2020), (Koutrouveli et al., 2019), (Ahmed et al., 2020) sehingga berdampak terhadap gerakan sedimen disekitar area titik krib sedangkan pada space krib dengan lainnya mengalami pengendapan (*agradasi*).



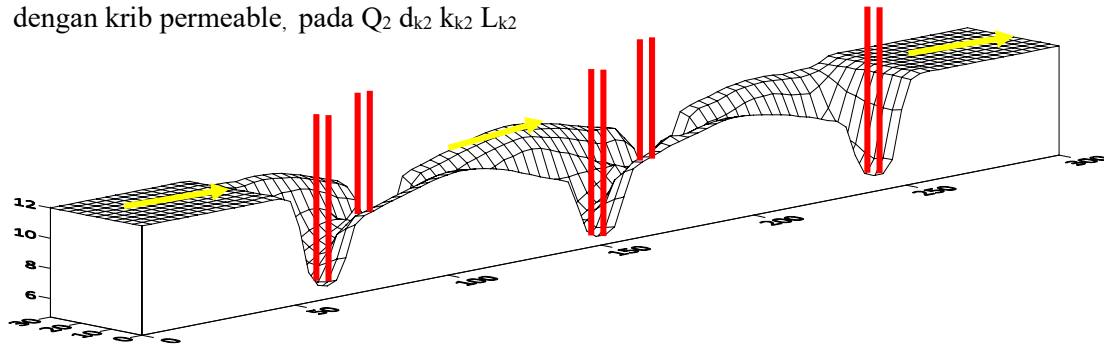
Gambar 128. Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_1 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k2}



Gambar 129. Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_2 dengan krib permeable pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k2}



Gambar 130. Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k2}



Gambar 131. Pola perubahan gerusan dasar dengan kemiringan dasar saluran S_3 dengan krib permeable, pada Q_2 d_{k2} k_{k2} L_{k2}

Gambar 128 kemiringan dasar saluran S_1 , **Gambar 129** kemiringan dasar saluran S_2 , **Gambar 130** kemiringan dasar saluran S_3 dengan diameter krib (d_{k2}), kerapatan krib (k_{k2}), jarak krib (L_{k2}) pada debit aliran Q_2 , Bahwa semakin besar kemiringan dasar saluran

menunjukkan kountur pola gerusan cenderung lebih rapat artinya gerusan tinggi dan angkutan sedimen semakin tinggi pada variasi dk_2 , k_{k2} , L_{k2} , kemiringan dasar saluran S_3 . **Gambar 131** menunjukkan konsentrasi gerusan sedimen terjadi disekitar area krib permeable, hal disebabkan oleh tegangan geser (τ_o) lebih besar dari tegangan geser kritis (τ_c), ($\tau_o > \tau_c$), sedangkan pada jarak krib dengan lainnya terjadi pengendapan (*agradasi*). Elevasi dasar saluran dan sedimen 12.5 cm (warna merah terang) dan elevasi terendah 4.5 cm (warna ungu). Dimana warna dari hasil olahan program surfer versi 20.0 menunjukkan elevasi dasar saluran. Hal terjadi jika tegangan geser lebih besar dengan tegangan geser kritis (τ_c) atau ($\tau_o < \tau_c$), sehingga sedimen cenderung diam atau mengendap (*agradasi*). Penempatan bangunan krib permeable menunjukkan terjadinya fenomena resistensi turbulensi (Rodi, 2017), (Cea et al., 2007) aliran dapat meningkatkan tegangan geser (τ_o), (Golpira, Huang, et al., 2020), (Koutrouveli et al., 2019), (Ahmed et al., 2020).

Penempatan krib pada kondisi kecepatan aliran relative cepat menyebabkan phenomena resistensi turbulensi aliran di sekitar area krib. Perubahan kountur pola gerusan dasar sedimen yang didominasi oleh kecepatan aliran. Turbulensi aliran terjadi oleh gaya inersia mempunyai energi kinetic, sehingga stabilitas dasar saluran terganggu menyebabkan gerusan di area titik krib permeable dan terjadi angkutan sedimen. Dampak dari meningkatnya tekanan energi kinetic aliran akibat kemiringan dasar saluran semakin besar, sehingga terjadi gesekan terhadap bangunan krib permeable.

4.5 Model Empiris perubahan Morfologi Dasar Saluran

4.5.1 Analisis Dimensi

Metode analisis dimensi digunakan sebagai alat bantu dalam menyelesaikan permasalahan phenomena fisik yang dinyatakan dalam persamaan, yang tersusun sebagai variable-variabel berdimensi maupun tak berdimensi Dimana prinsip dasar analisis dimensi adalah menyederhanakan sejumlah variable terpisah yang tercakup dalam suatu system fisik tertentu menjadi grop variable tak berdimensi dengan jumlah yang lebih kecil (Suripin, 2018).

Analisis data penelitian menggunakan pendekatan metode *Buckingham* (Suripin, 2018), dengan membentuk variable-variabel yang signifikan ke dalam grup tak berdimensi ataupun berdimensi. Parameter analisis dimensi dapat dikelompokkan menjadi empat bagian yaitu :

- 1) Variable geometric; lebar dasar saluran (b), kedalaman aliran (h), diameter krib (d_k), jarak krib (L_k), kerapatan krib (k_k), kemiringan dasar saluran (S_0), diameter butiran sedimen (d_z).
- 2) Variabel Kinematik: kecepatan aliran (u), percepatan gravitasi (g), waktu pengaliran (t), debit pengaliran (Q).
- 3) Variable Dinamik; berat jenis butiran (ρ_s), berat jenis aliran (ρ_w), visikositas aliran/kekentalan aliran (μ).
- 4) Variabel berulang; kedalaman aliran (h), percepatan gravitasi (g), dan berat jenis aliran (ρ_w).

Variabel-variabel tersebut menjadi parameter dasar digunakan dalam menganalisis dimensi untuk mendapatkan persamaan bilangan tak berdimensi dan berdimensi seperti; angka bilangan Reynolds (Re), tegangan geser kritis (τ_c) dan volume angkutan sedimen (q_b).

Berdasarkan analisis dimensi metode *Buckingham* (Suripin, 2018), parameter fisik ini dinyatakan dalam 3 (tiga) dimensi dasar yaitu; Massa (M), Panjang (L) dan Waktu (T). Uraian variable sebagaimana diuraikan pada **Tabel 22** dan **Tabel 23** berikut ini.

4.5.2 Analisis dimensi untuk koefisien gaya seret (C_D) pada bangunan krib permeable

Variable berulang yang digunakan dalam analisis dimensi koefisien gaya seret (C_D) pada bangunan krib permeabel adalah; h , u , ρ_w . Variabel berulang ini dilakukan perkalian dengan berbagai variabel-variabel geometric, kinematic dan dinamik dengan menggunakan variable π_i sebagai symbol dasar untuk perkalian dari tiga variable yang berulang dan salah satu variabel sisa, demikian seterusnya hingga habis diuraikan pada **Tabel 22** di bawah ini.

Tabel 22. Variable analisis dimensi koefisien gaya seret (C_D) bangunan krib permeabel

Variabel	Geometrik		Kinematik		Dinamik		
	h	d_k	u	g	ρ_w	F	μ (μ)
Satuan	cm	cm	cm/dt	cm/s ²	(gr/cm ³)	N	(Kg.m/s ²)
Dimensi	L	L	LT ⁻¹	LT ⁻²	ML ⁻³	MLT ⁻²	ML ⁻¹ T ⁻²
M	0	0	0	0	1	1	1
L	1	1	1	1	-3	1	1
T	0	0	-1	-2	0	-2	-2

Parameter yang berulang : h, u, ρ_w

Jumlah variable 7, jumlah satuan dasar 3, sehingga Jumlah konstanta tak berdimensi $7 - 3 = 4$. Jadi persamaan variable π_i , adalah perkalian dari tiga variable yang berulang dan salah satu variabel sisa, demikian hingga habis :

$\pi_1 = h^x \cdot u^y \cdot \rho_w^z \cdot FD$ $M = 0+0+z-1 = 0, z=-1$ $T = 0-2Y+0+(-2) = 0, Y=-2$ $L = X-(-2)Y+3z+1=0, X=-2$	$\pi_1 = \frac{FD}{h^2 u^2 \rho_w}$
$\pi_2 = h^x \cdot u^y \cdot \omega^z \cdot dk$ $M = 0+0+z-0 = 0, z=0$ $T = 0-2Y+0+0 = 0, Y=0$ $L = X+Y-3z+1 = 0, X=-1$	$\pi_2 = \frac{dk}{h}$
$\pi_3 = h^x \cdot u^y \cdot \omega^z \cdot g$ $M = 0+0+z+0 = 0, z=0$ $T = 0-Y+0+(-2) = 0, Y=-2$ $L = X+(-2)Y-3z-1 = 0, X=1$	$\pi_3 = \frac{g \cdot h}{u^2}$
$\pi_4 = h^x \cdot u^y \cdot \rho_w^z \cdot \mu$ $M = 0+0+z+1 = 0, z=-1$ $T = 0-2Y+0-1 = 0, Y=-1$ $L = X+y-3z-1 = 0, X=-1$	$\pi_4 = \frac{\mu}{h \cdot u \cdot \rho_w}$

Kesimpulan :

$$\pi_1 = \frac{FD}{h^2 u^2 \rho_w}, \pi_2 = \frac{dk}{h}, \pi_3 = \frac{g \cdot h}{u^2}, \pi_4 = \frac{\mu}{h \cdot u \cdot \rho_w}$$

Penyederhanaan suku ke-1 dengan suku ke-2 :

$$\pi_5 = \frac{\pi_1}{\pi_2} = \frac{FD}{h^2 u^2 \rho_w} \cdot \frac{h}{dk}$$

$$= \frac{FD}{h \cdot dk \cdot u^2 \rho_w}$$

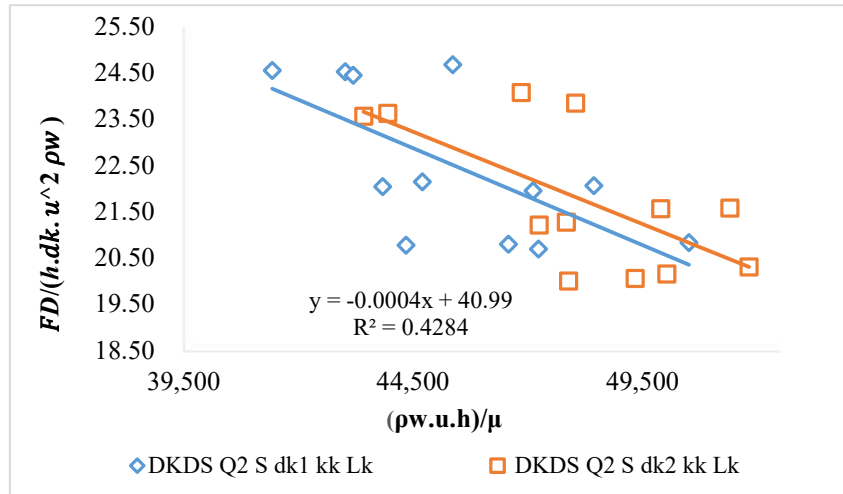
Maka fungsi menjadi :

$$f = \pi_3, \pi_4 = f\left(\frac{g \cdot h}{u^2}, \frac{h \cdot u \cdot \rho_w}{\mu}, \frac{FD}{h \cdot dk \cdot u^2 \rho_w}\right)$$

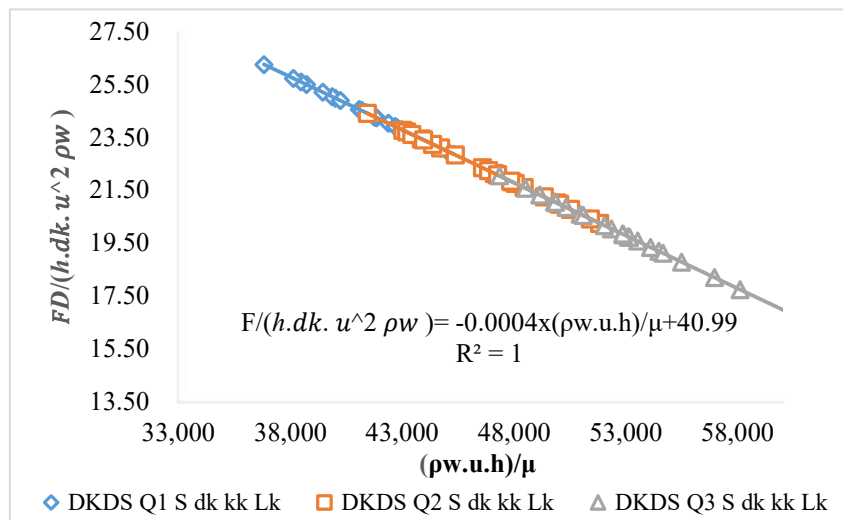
$$\text{maka hubungan menjadi : } \frac{h \cdot u \cdot \rho_w}{\mu} \text{ vs } \frac{FD}{h \cdot dk \cdot u^2 \rho_w}; \frac{g \cdot h}{u^2} \text{ vs } \frac{FD}{h \cdot dk \cdot u^2 \rho_w}; \frac{u}{h} \text{ vs } \frac{FD}{h \cdot dk \cdot u^2 \rho_w}$$

$$C_D = \frac{FD}{h.dk.u^2 \rho_w} \text{ (koefisien gaya gesek akibat krib permeable)} \quad (60)$$

Hasil perhitungan Bilangan *Reynolds* dan koefisien gesek pada bangunan krib permeable diuraikan pada **Gambar 132**, dan **Gambar 133** di bawah ini.



Gambar 132. Hubungan bilangan *Reynolds* dengan koefisien gaya gesek (C_D penelitian) akibat krib permeable



Gambar 133. Hubungan bilangan *Reynolds* dengan koefisien gesek (C_D empiris) akibat krib permeable, hasil validasi.

Gambar 132 menunjukkan bahwa koefisien gaya gesek (C_{Dukur}) akibat bangunan krib permeable dipengaruhi oleh bilangan *Reynolds* (Re) dengan kedalaman aliran (h) rendah dan kecepatan aliran (u) semakin besar menyebabkan bidang kontak tekanan terhadap krib permeable menyebabkan bilangan *Reynolds* semakin menurun. Berdasarkan

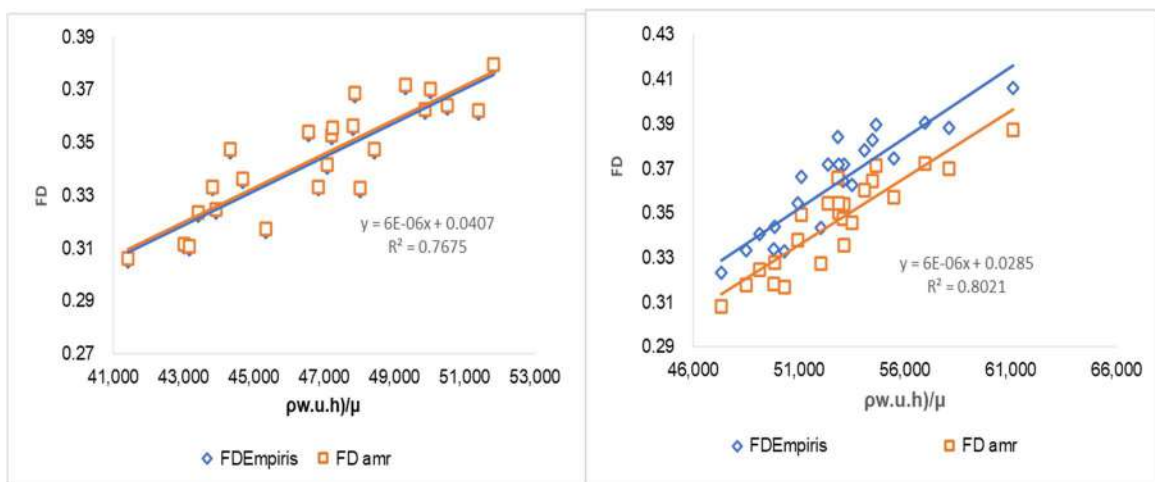
hubungan bilangan *Reynolds* dengan koefisien gaya gesek (C_D) dilakukan analisis regresi linear sederhana sehingga mendapatkan persamaan berikut :

$$C_D = -0.0004 \cdot \frac{(\rho_w \cdot u \cdot h)}{\mu} + 40.99 \quad (61)$$

Hasil perbandingan pada persamaan 61 tersebut antara koefisien gesek ($C_{D \text{ amr}}$ dengan $C_{D \text{ empiris}}$ diperoleh nilai koefisien gesek yang hampir sama, pada $C_{D \text{ amr}}$ dihasilkan nilai rata-rata 22.1237 sedangkan $C_{D \text{ empiris}}$ (persamaan 61) menghasilkan nilai 22.2688. uraian lengkap ditunjukkan pada **Gambar 133** di atas.

Berdasarkan persamaan 61 di atas, dapat dihitung gaya hambat (F_D) pada krib permeable dengan koefisien gesek ($C_{D \text{ empiris}}$ dan $C_{D \text{ amr}}$ pada **Gambar 134** di bawah ini.

Hasil perhitungan antara gaya hambat ($F_{D \text{ empiris}}$ dan $F_{D \text{ amr}}$ pada krib permeabal menunjukkan tren yang sama, dengan semakin besar kedalaman aliran berbanding lurus dengan peningkatan gaya hambat (F_D). Hal ini diperkirakan disebabkan oleh luas bidang gaya hambat (F_D) dan koefisien gesek (C_D) semakin besar. Pengaruh resistensi turbulensi (Sukhodolov et al., 2017) aliran mempunyai peranan penting dalam peningkatan gaya geser sedimen, sehingga terjadi gerusan cenderung semakin besar, seperti ditunjukkan pada **Gambar 134** di bawah ini.



Gambar 134. Hubungan bilangan *Reynolds* dengan gaya hambat (F_D) pada krib permeable

Gambar 134 menunjukkan bahwa semakin besar bilangan *Reynolds* (Re) berbanding lurus gaya hambat (F_D), karena dipengaruhi oleh perubahan dinamika aliran pada bangunan krib permeable seperti, jarak krib (L_k), kerapatan krib (k_k), diameter krib (d_k), kecepatan aliran (u) dan kedalaman aliran (h).

4.5.3 Analisis Dimensi untuk angkutan sedimen (q_b) pada bangunan krib permeable

Variable berulang yang digunakan dalam analisis dimensi penelitian ini adalah; h , g , ρ_w . Variabel berulang ini dilakukan perkalian dengan berbagai variabel-variabel geometric, kinematic dan dinamik dengan menggunakan variable π_i sebagai symbol dasar untuk perkalian dari tiga variable yang berulang dan salah satu variabel sisa, demikian seterusnya hingga habis :

Tabel 23. Variabel-variabel analisis dimensi

Variabel	Geometrik						Kinematik					Dinamik		
	b	h	d_k	L_k	a_k	S	U	g	q_b	t	Q	ρ_w	ρ_s	μ (mu)
Satuan	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm/dt	cm/s ²	cm ³ /hr	menit	cm ³ /dt	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)	(Kg.m/s ²) s/m ² = N.s/m ²
Dimensi	L	L	L	L	L	L	LT ⁻¹	LT ⁻²	L ³ T ⁻¹	T	L ³ T ⁻¹	ML ⁻³	ML ⁻³	ML ⁻¹ T ⁻²
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
L	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	3	-3	-3	1
T	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	1	-1	0	0	-2

Parameter yang berulang : h , g , ρ_w

Jumlah variable 14, jumlah satuan dasar 3, sehingga Jumlah konstanta tak berdimensi $14 - 3 = 11$. Jadi Persamaan variable π_i , adalah perkalian dari tiga variable yang berulang dan salah satu variabel sisa, demikian hingga habis :

$\pi_1 = h^x \cdot g^y \cdot \rho_w^z \cdot b$ $M = 0+0+z+0 = 0, \quad z=0$ $T = 0-2Y+0+0 = 0, Y=0$ $L = X+Y-3z+1 = 0, X=-1$	$\pi_1 = \frac{b}{h}$
$\pi_2 = h^x \cdot g^y \cdot \rho_w^z \cdot d_k$ $M = 0+0+z-0 = 0, \quad z=-0$ $T = 0-2Y+0+0 = 0, Y=0$ $L = X+Y-3z+1 = 0, X=-1$	$\pi_2 = \frac{dk}{h}$
$\pi_3 = h^x \cdot g^y \cdot \rho_w^z \cdot a_k$ $M = 0+0+z+1 = 0, \quad z=0$ $T = 0-2Y+0+0 = 0, Y=0$	$\pi_3 = \frac{kk}{h}$

$L = X+Y-3z-4 = 0, X=-1$	
$\pi_4 = h^x \cdot g^y \cdot \rho w^z \cdot L_k$ $M = 0+0+z+0 = 0, \quad z=0$ $T = 0-2Y+0+0 = 0, Y=0$ $L = X+Y-3z+1 = 0, X=-1$	$\pi_4 = \frac{Lk}{h}$
$\pi_5 = h^x \cdot g^y \cdot \rho w^z \cdot S$ $M = 0+0+z+0 = 0, \quad z=0$ $T = 0-2Y+0+0 = 0, Y=0$ $L = X+Y-3z+1 = 0, X=-1$	$\pi_5 = \frac{S}{h}$
$\pi_6 = h^x \cdot g^y \cdot \rho w^z \cdot u$ $M = 0+0+z-1 = 0, \quad z=0$ $T = 0-2Y+0-1 = 0, Y=-1/2$ $L = X+Y-3z+1 = 0, X=-1/2$	$\pi_6 = \frac{u}{\sqrt{g \cdot h}}$
$\pi_7 = h^x \cdot g^y \cdot \rho_w^z \cdot t$ $M = 0+0+z+0 = 0, \quad z=0$ $T = 0-2Y+0+1 = 0, Y=-1/2$ $L = X+Y-3z-0 = 0, X=-1/2$	$\pi_7 = \frac{t \cdot \sqrt{g}}{\sqrt{h}}$
$\pi_8 = h^x \cdot g^y \cdot \rho_w^z \cdot Q$ $M = 0+0+z+0 = 0, \quad z=0$ $T = 0-2Y+0-1 = 0, Y=-1/2$ $L = X+Y-3z+3 = 0, X=-2.5$	$\pi_8 = \frac{Q}{\sqrt{g} \cdot h^{2.5}}$
$\pi_9 = h^x \cdot g^y \cdot \rho_w^z \cdot \rho_s$ $M = 0+0+z+1 = 0, \quad z=-1$ $T = 0-2Y+0-1 = 0, Y=0$ $L = X+Y-3z+3 = 0, X=0$	$\pi_9 = \frac{\rho_s}{\rho_w}$
$\pi_{10} = h^x \cdot g^y \cdot \rho_w^z \cdot \mu \text{ (mu)}$ $M = 0+0+z+1 = 0, \quad z=-1$ $T = 0-2Y+0-1 = 0, Y=-1/2$ $L = X+y-3z-1 = 0, X=-1.5$	$\pi_{10} = \frac{\mu \text{ (mu)}}{\rho_w \cdot \sqrt{g} \cdot h^{1.5}}$

$\pi_{11} = h^x \cdot g^y \cdot \rho_w^z \cdot qb$ $M = 0+0+z+0 = 0, \quad z=0$ $T = 0-2Y+0-1 = 0, Y=-1/2$ $L = X+y-3z+3 = 0, X=-2.5$	$\pi_{11} = \frac{qb}{\sqrt{g} \cdot h^{2.5}}$
--	--

$$\pi_1 = \frac{b}{h}, \pi_2 = \frac{dk}{h}, \pi_3 = \frac{kk}{h}, \pi_4 = \frac{Lk}{h}, \pi_5 = \frac{S}{h}, \pi_6 = \frac{u}{\sqrt{g} \cdot h}, \pi_7 = \frac{t \cdot \sqrt{g}}{\sqrt{h}}, \pi_8 = \frac{Q}{\sqrt{g} \cdot h^{2.5}},$$

$$\pi_9 = \frac{\rho_s}{\rho_w}, \pi_{10} = \frac{\mu (\text{mu})}{\rho_w \cdot \sqrt{g} \cdot h^{1.5}}, \pi_{11} = \frac{qb}{\sqrt{g} \cdot h^{2.5}}$$

$$f\left(\frac{b}{h}, \frac{dk}{h}, \frac{kk}{h}, \frac{Lk}{h}, \frac{S}{h}, \frac{u}{\sqrt{g} \cdot h}, \frac{t \cdot \sqrt{g}}{\sqrt{h}}, \frac{Q}{\sqrt{g} \cdot h^{2.5}}, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{\mu (\text{mu})}{\rho_w \cdot \sqrt{g} \cdot h^{1.5}}, \frac{qb}{\sqrt{g} \cdot h^{2.5}}\right)$$

Disederhanakan dengan operasi (kali dan atau bagi) antar variabel non dimensional tersebut, hilangkan nilai konstanta, sehingga jumlahnya lebih sederhana.

$$\pi_{12} = \frac{\pi_2}{\pi_3}, = \frac{\frac{dk}{h}}{\frac{kk}{h}} = \frac{dk}{kk}$$

Persamaan qs dapat ditulis menjadi :

$$qb = \frac{kk}{dk} \cdot \frac{S}{h} \cdot \frac{t \cdot \sqrt{g}}{\sqrt{h}} \cdot \frac{\mu (\text{mu})}{\rho_w \cdot \sqrt{g} \cdot h^{1.5}} \cdot \frac{Q}{\sqrt{g} \cdot h^{2.5}} \cdot \sqrt{g} \cdot h^{2.5} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \frac{u}{\sqrt{g} \cdot h}$$

$$qb = \frac{kk}{dk} \cdot \frac{S}{h} \cdot \frac{t}{\sqrt{h}} \cdot \frac{\mu (\text{mu})}{\rho_w \cdot \sqrt{g} \cdot h^{1.5}} \cdot Q \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \frac{u}{\sqrt{g} \cdot h}$$

Suku ke 7 dibagi suku ke-8

$$\frac{\frac{u}{\sqrt{g} \cdot h}}{\frac{\mu (\text{mu})}{\rho_w \cdot \sqrt{g} \cdot h^{1.5}}} = \frac{\sqrt{g} \cdot h}{u} \cdot \frac{\mu (\text{mu})}{\rho_w \cdot \sqrt{g} \cdot h^{1.5}} = \frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{u} \cdot \frac{\sqrt{g} \cdot h}{\sqrt{g} \cdot h}$$

Dimana $\frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{u}$ adalah bilangan *Reynolds* (Re)

$$\frac{kk}{dk} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{S}{h} \cdot \frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{u} \cdot \frac{t \cdot \sqrt{g}}{\sqrt{h}} \cdot Q \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

$$\frac{Q}{\frac{t \cdot \sqrt{g}}{\sqrt{h}}} = Q \cdot \frac{t \cdot \sqrt{g}}{\sqrt{h}} \text{ ditambahkan } \frac{\sqrt{g}}{\sqrt{g}}$$

$$\frac{kk}{dk} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{S}{h} \cdot Q \cdot \frac{\sqrt{g}}{t \cdot \sqrt{h}} \cdot \frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{u} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

Dimana $\sqrt{g \cdot h} = u$ dan $Q = A \times u$, $A = b \cdot h$ maka persamaan menjadi :

$$\frac{1}{t} \cdot \frac{k_k}{dk} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{S}{h} \cdot b \cdot h \cdot u \cdot \frac{u^2}{g \cdot h} \cdot \frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{u} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

$$\frac{1}{t} \cdot \frac{k_k}{dk} \cdot \frac{S}{h} \cdot u \cdot \frac{u^2}{g \cdot h} \cdot \frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{u} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

Suku ke-5 dibagi suku ke-7

$$\frac{\frac{u^2}{g \cdot h}}{\frac{\rho_s}{\rho_w}} = \frac{u^2}{g \cdot h} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{u^2}{g \cdot h (\rho_s - \rho_w)}$$

Dimana $\frac{u^2}{g \cdot h (\rho_s - \rho_w)}$ adalah tegangan geser kritis (τ_c), sehingga persamaan menjadi: $q_b =$

$$\frac{k_k}{L_k} \cdot \frac{S}{h} \cdot u \cdot \frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{u} \cdot \frac{u^2}{g \cdot h (\rho_s - \rho_w)}$$

Dimana q_b adalah debit sedimen gerusan (ton/hr), $\frac{1}{t}$ adalah waktu

gerusan, $\frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{\mu}$ adalah bilangan *Reynolds* dan $\frac{u^2}{g \cdot h (\rho_s - \rho_w)}$ adalah tegangan geser kritis (τ_c),

debit angkutan sedimen (q_b) merupakan persamaan hasil analisis dimensi sebagai berikut :

$$q_b = \frac{k_k}{L_k} \cdot \frac{S}{h} \cdot u \cdot \frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{u} \cdot \frac{u^2}{g \cdot h (\rho_s - \rho_w)} \quad (62)$$

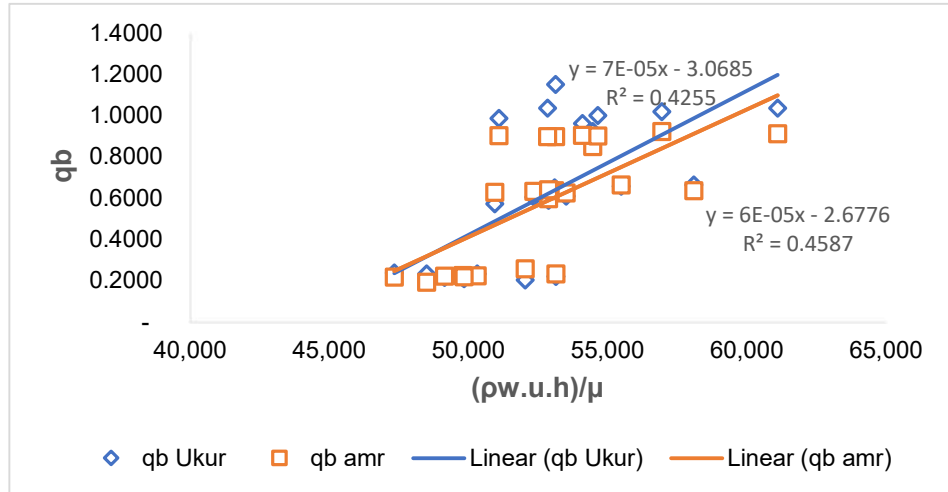
Tabel 24 Hasil Analisis Regresi liner Berganda dengan Angkutan Sedimen (q_b)

No	Regression Statistics		Coefficients	
1	Multiple R	0.9934527	Intercept	0.09943373
2	R Square	0.9869484	k_k/L_k	0
3	Adjusted R Square	0.9315691	S/h	222.48616
4	Standar Error	0.0370119	u	-5.06019572
5	Observations	24	$(\rho_w \cdot u \cdot h)/\mu$	2.305×10^{-5}
6			$(u^2/(g \cdot h (\rho_s - \rho_w)))$	9.4689158

Persamaan 62 diuraikan kedalam bentuk analisis regresi linear berganda berdasarkan **Tabel 23** di atas, sehingga diperoleh persamaan angkutan sedimen (q_b) pada bangunan krib permeable adalah :

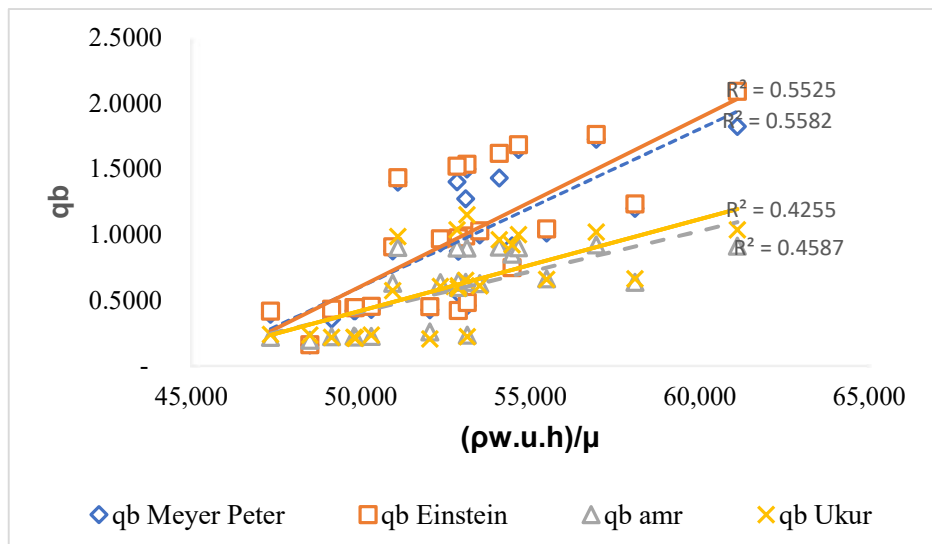
$$q_b = 0.0994 + 222.4862 \frac{S}{h} - 5.0602 u + 0.000023 \frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{u} + 9.4689 \frac{u^2}{g \cdot h (\rho_s - \rho_w)} \quad (63)$$

Gambar 135 menunjukkan hubungan bilangan *Reynolds* dengan angkutan sedimen berdasarkan persamaan 64 di bawah ini.



Gambar 135. Bilangan *Reynolds* (*Re*) dengan angkutan sedimen (*q_b*)

Validasi persamaan 63 sebagai hasil analisis temuan penelitian dengan persamaan empiris angkutan sedimen digunakan dua metode yaitu; Meyer Peter Muller (*q_{bMP}*), Einstein (*q_{bEinstein}*), ukur (*q_b ukur*), dan *q_b amr* tersebut, diuraikan pada **Gambar 136**.



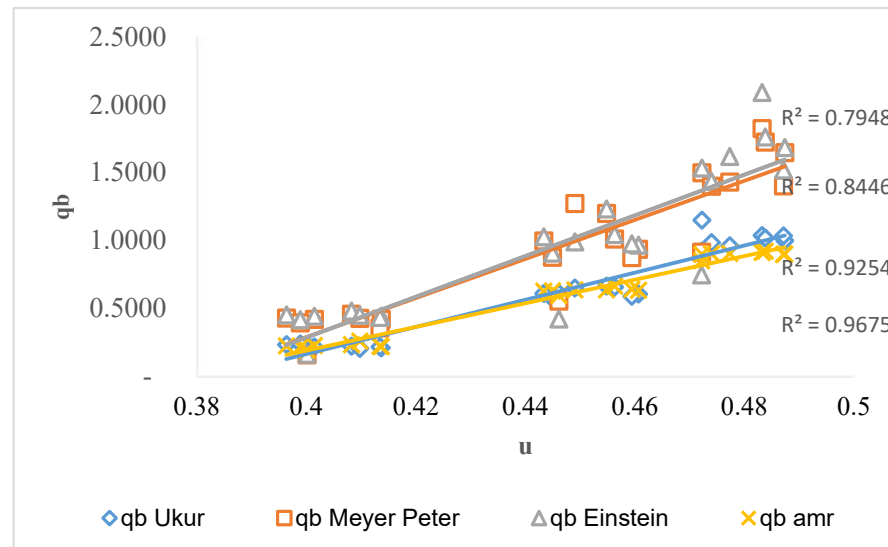
Gambar 136. Bilangan *Reynolds* (*Re*) dengan volume angkutan sedimen (*q_b*)

Gambar 136 menunjukkan perubahan tren yang sama dengan peningkatan angkutan sedimen (*q_b*), baik hasil pengukuran volume sedimen pengukuran (*q_b ukur*), hasil analisis empiris dengan metode Meyer Peter (*q_b Meyer Peter*) dan Einstein (*q_b Einstein*) maupun hasil penelitian (amr) $q_b = 0.0994 + 222.4862 \frac{S}{h} - 5.0602 u + 0.000023 \frac{\rho_w u h}{u} + 9.4689 \left(\frac{u^2}{g h (\rho_s - \rho_w)} \right)$ akibat peningkatan nilai bilangan *Reynolds* (*Re*), terjadi perbedaan

diperkirakan factor perbedaan parameter data yang digunakan sangat variative dan factor keberadaan bangunan krib permeable. Dengan nilai determinasi $R=0.71 > 0.60$, maka hubungan pengaruh bilangan *Reynolds* (Re) terhadap angkutan sedimen (q_b).

a. Kecepatan aliran (u) terhadap angkutan sedimen (q_b)

Perubahan kecepatan menyebabkan terjadi peningkatan angkutan sedimen seperti ditunjukkan pada **Gambar 137** di bawah ini.

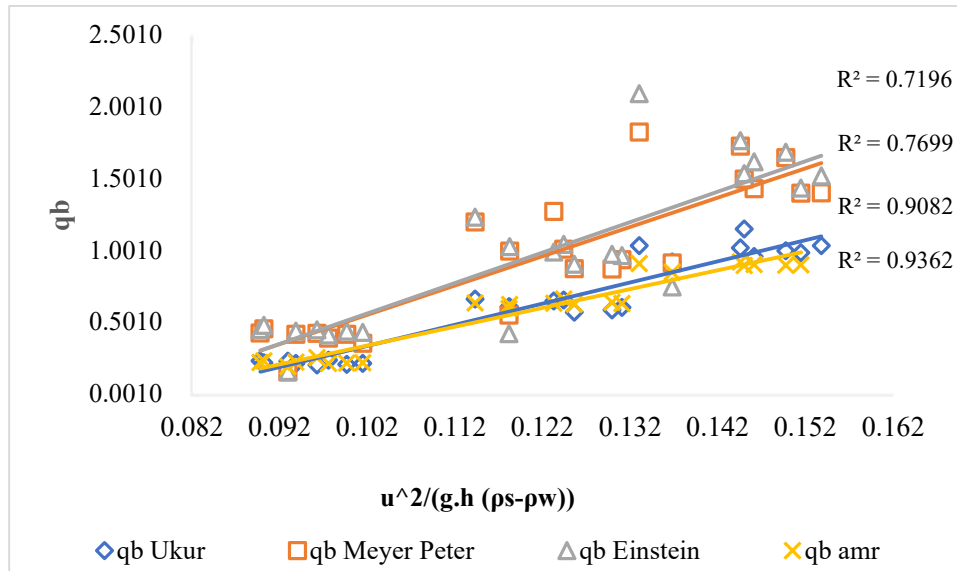


Gambar 137. Kecepatan aliran (u) dengan angkutan sedimen (q_b)

Gambar 137 tersebut di atas menunjukkan bahwa perubahan kecepatan aliran berbanding lurus dengan peningkatan angkutan sedimen (q_b). peningkatan kecepatan aliran menyebabkan tekanan geser dasar saluran semakin besar sehingga terjadi gerakan sedimen dengan angkutan sedimen, hal sesuai dalam teori bahwa apabila tegangan geser lebih besar dari tegangan geser kritis, maka akan terjadi gerakan sedimen ($\tau_o > \tau_c$) (Ikhsan et al., 2013). Peningkatan angkutan sedimen juga terjadi tren yang sama dengan persamaan empiris Meyer Peter (MP) dan Einstein dengan pengukuran dan persamaan hasil penelitian. Dengan nilai koefisien diterminasi $R=0.94 > 0.60$ berarti hubungan pengaruh kecepatan aliran dengan angkutan sedimen (q_b).

b. Hubungan tegangan geser kritis $\frac{u^2}{[g.h(\rho_s-\rho_w)]}$ terhadap angkutan sedimen (q_b)

Hubungan pengaruh tegangan geser kritis $\frac{u^2}{[g.h(\rho_s-\rho_w)]}$ terhadap angkutan sedimen sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 138** di bawah ini.



Gambar 138. Hubungan tegangan geser kritis $\frac{u^2}{[g.h(\rho_s-\rho_w)]}$ dengan angkutan sedimen (q_b)

Peningkatan tegangan geser $\frac{u^2}{[g.h(\rho_s-\rho_w)]}$ berbanding lurus dengan volume angkutan sedimen (q_b). peningkatan sedimen disebabkan nilai tegangan geser (τ_o) juga mengalami peningkatan tegangan geser kritis (τ_c), berdasarkan hukum teori bahwa jika tegangan geser lebih besar dari pada tegangan geser kritis ($\tau_o > \tau_c$), maka terjadi gerakan sedimen (Ikhsan et al., 2013) yang ditunjukkan pada **Gambar 138** di atas. Peningkatan angkutan sedimen dengan metode empiris dari Meyer Peter (MP) dan Einstein mempunyai peningkatan tren yang sama dengan hasil pengukuran dan persamaan hasil penelitian. Nilai koefisien determinasi $R=0.91 > 0.60$, sehingga hubungan pengaruh antara tegangan geser dengan angkutan sedimen.

Degradasi dasar saluran merupakan awal dari angkutan sedimen, dimana terjadinya debit solid yang lebih kecil daripada kemampuan angkutan sedimen, ataupun tegangan geser (τ_o) lebih besar dari tegangan geser kritis (τ_c) ($\tau_o > \tau_c$) dan jika tegangan geser kritis (τ_c) lebih besar dari pada tegangan geser (τ_o) ($\tau_o < \tau_c$), maka sedimen diam atau disebut aggradasi. Dimana terjadi degradasi disebabkan oleh debit solid lebih besar daripada kemampuan angkutan sedimen. Perubahan morfologi dasar saluran digambarkan sebagai dinamisasi degradasi dan aggradasi dasar sungai. Proses angkutan sedimen (q_b) digambarkan sebagai perubahan morfologi dasar sungai, dimana sebagai dampak terhadap fenomena hidrolika aliran sungai. Dengan demikian dalam penelitian ini,

parameter angkutan sedimen (q_b) menjadi parameter utama digunakan sebagai persamaan empiris sebagai temuan dalam penelitian ini, akibat bangunan krib permeabel yang mempengaruhi perubahan morfologi dasar saluran.

Pengujian ini mempunyai kecenderungan diameter krib (d_{k1}), kerapatan krib (k_{k1}) yang lebih kecil dan jarak krib (L_{k2}) yang lebih besar menunjukkan lebih baik, dengan angkutan sedimen (q_b) mengalami penurunan. Hal ini diperkirakan bahwa resistensi aliran terhadap bidang permukaan yang lebih kecil dan rapat (celah kecil) dengan jarak lebih besar atau proporsional dianggap mampu meredam laju energi aliran turbulen terhadap bangunan krib tersebut, sehingga dapat mengurangi gerusan dan angkutan sedimen.

Temuan persamaan angkutan sedimen (q_b) akibat bangunan krib permeabel dilakukan pengujian pada material dasar saluran tanah – pasir (sedimen) dengan karakteristik material ukuran butiran, $d_{10} = 0.161$ mm, $d_{35} = 0.239$ mm, $d_{50} = 0.265$ mm, $d_{60} = 0.374$ mm dan $d_{90} = 0.432$ mm dengan berat jenis butiran campuran tanah/pasir (γ_s) $2.643 - 2.660$ gr/cm³, dan bentuk krib permeabel digunakan adalah kayu bulat.

Penempatan krib permeabel pada kondisi aliran dengan relative cepat secara tiba-tiba menyebabkan resistensi aliran cukup tinggi, sehingga menyebabkan terjadi phenomena aliran turbulen dan gerusan di sekitar area titik krib. Adapun metode yang dapat dilakukan pada pengujian selanjutnya terkait dengan krib permeabel, dengan mengurangi resistensi turbulensi aliran antarlain: pengujian penempatan krib lebih awal di bagian hulu lokasi rawan gerusan untuk meredam lebih awal kecepatan aliran, model krib permeabel dalam bentuk berfori sehingga dimungkinkan menahan laju kecepatan aliran, resistensi turbulen aliran dan gerusan local dapat berkurang, dan krib permeabel dengan bentuk permeable collar dimungkinkan mengatur kecepatan aliran dan mengurangi gerusan local di sekitar bangunan krib permeabel.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Analisis dan pembahasan tersebut di atas, telah diuraikan secara detail untuk mengurai dan memvalidasikan dengan persamaan empiris maupun hasil-hasil penelitian sebelumnya yang sejalan dengan topik penelitian ini sebagai respon tujuan penelitian, maka dapat disimpulkan beberapa hal yang menjadi kata kunci hasil penelitian sebagai berikut :

1. Karakteristik aliran mempunyai peranan penting dalam mempengaruhi perubahan morfologi dasar sungai, sehingga perubahan ini menjadi sangat dinamis. Karakteristik aliran dengan bilangan *Reynolds* (Re) menunjukkan perubahan yang signifikan akibat penempatan bangunan krib permeable pada saluran pada kondisi kecepatan aliran relative tinggi.
2. Perubahan morfologi dasar saluran dipengaruhi penomena resistensi turbulensi aliran akibat penempatan bangunan krib permeable. Peningkatan nilai kerapatan krib (k_k) dan jarak krib (L_k) menunjukkan angkutan sedimen (q_b), semakin besar dengan pola kountur semakin renggang. Pola distribusi kecepatan aliran menunjukkan vector lebih rapat dan semakin banyak dengan angkutan sedimen (q_b) yang lebih besar.
3. Persamaan empiris yang dihasilkan dari penelitian ini adalah persamaan angkutan sedimen (q_b) akibat krib permeable, $q_b = 0.0994 + 222.4862 \frac{S}{h} - 5.0602 u + 0.000023 \frac{\rho_w \cdot u \cdot h}{u} + 9.4689 \left(\frac{u^2}{g \cdot h (\rho_s - \rho_w)} \right)$.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data diperoleh beberapa hal menjadi bagian penting untuk dapat perhatian dalam penelitian krib selanjutnya, antara lain :

- 1) Penomena-penomena baru perubahan morfologi dasar yang senantiasa menjadi menarik untuk selaju menjadi bahan kajian-kajian penelitian selanjutnya.

- 2) Variasi kerapatan krib (k_k), jarak krib (L_k) dan diameter krib (d_k) diperlukan variasi yang besar;
- 3) Penempatan krib sebaiknya memperhatikan karakteristik aliran, sehingga penempatan krib tidak focus pada area gerusan, namun perlu diperhatikan dampak yang ditimbulkan akibat hambatan aliran secara tiba-tiba menyebabkan fenomena resistensi aliran meningkat.
- 4) Pengujian krib permeable diperlukan upaya untuk meredam terjadinya resistensi turbulen aliran dengan model krib permeable collar yang berdampak terhadap terjadinya gerusan local di sekitar bangunan krib permeabel
- 5) Pengujian model krib permeable berfori dilakukan untuk mengurangi dampak resistensi aliran akibat krib permeable yang mengalami hambatan secara tiba-tiba pada kondisi kecepatan aliran relative cukup tinggi.
- 6) Pengujian hubungan kecepatan aliran dengan panjang penempatan krib.

DAFTAR PUSTAKA

- Agyei, G., & Gordon, J. J. (2017). Effect of Riffle Height and Spacing of a Sluice Board on Placer gold recovery. *Ghana Mining Journal*, 17(1), 64–72.
- Agus Maryono. (2007) *Restorasi Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Agus Maryono. (2008). *Eko-Hidrolik Pengelolaan Sungai Ramah Lingkungan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Ahmed, U., Apsley, D., Stallard, T., Stansby, P., & Afgan, I. (2020). Turbulent length scales and budgets of Reynolds stress-transport for open-channel flows; friction Reynolds numbers (Re_τ)= 150, 400 and 1020. *Journal of Hydraulic Research*, 1–15.
- Aisyah, S. (2004). Pola Gerusan Lokal di Berbagai Bentuk Pilar Akibat Adanya Variasi Debit. *Tugas Akhir. Yogyakarta: UGM*.
- Al-Khateeb, H. M. M., AL-Thamiry, H. A. K., & Hassan, H. H. (2016). Evaluation of local scour development around curved non-submerged impermeable groynes. *Int. J. Sci. Technol. Res*, 5, 83–89.
- Ali, S., & Uijtewaal, W. S. J. (2013). Flow resistance of vegetated weirlike obstacles during high water stages. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(3), 325–330.
- Aziz, P., & Kadota, A. (2018). Experimental study of morphological changes and flow structure around the vegetated groyne. *Int. J. Adv. Sci., Eng. Inf. Technol*, 8(1), 99–107.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 2400.1:2016. Tata Cara Perencanaan Krib di Sungai-Bagian 1 : Perencanaan umum. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bambang Triatmodjo (2008). *Hidrolika Jilid 2*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Baki, A. B. M., Zhang, W., Zhu, D. Z., & Rajaratnam, N. (2017). Flow structures in the vicinity of a submerged boulder within a boulder array. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(5), 4016104.
- Baki, A. B. M., Zhu, D. Z., & Rajaratnam, N. (2015). Turbulence characteristics in a rock-ramp-type fish pass. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(2), 4014075.
- Blazejewski, R., Pilarczyk, K. W., & Przedwojski, B. (1995). *River training techniques: fundamentals, design and applications*. CRC Press.
- Bretón, F., Baki, A. B. M., Link, O., Zhu, D. Z., & Rajaratnam, N. (2013). Flow in nature-like fishway and its relation to fish behaviour. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(6), 567–573.
- Breusers, H. N. C., & Raudkivi, A. J. (1991). Scouring. IAHR hydraulic structures design manual 2. *AA Balkema, Rotterdam, The Netherlands*.

- Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, (2005). *Mekanika Fluida* edisi keempat jilid 2. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Bustamante-Penagos, N., & Niño, Y. (2020). Flow–Sediment Turbulent Ejections: Interaction between Surface and Subsurface Flow in Gravel-Bed Contaminated by Fine Sediment. *Water*, 12(6), 1589.
- Cao, H., Ye, C., Yan, X.-F., Liu, X.-N., & Wang, X.-K. (2020). Experimental investigation of turbulent flows through a boulder array placed on a permeable bed. *Water Supply*.
- Chay Asdak, (2007) *Hidrologi dan pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjra Mada University Press, Yogyakarta.
- Cea, L., Puertas, J., & Pena, L. (2007). Velocity measurements on highly turbulent free surface flow using ADV. *Experiments in Fluids*, 42(3), 333–348.
- Choufu, L., Abbasi, S., Pourshahbaz, H., Taghvaei, P., & Tfwala, S. (2019). Investigation of flow, erosion, and sedimentation pattern around varied groynes under different hydraulic and geometric conditions: a numerical study. *Water*, 11(2), 235.
- Constantinescu, G., Miyawaki, S., & Liao, Q. (2013). Flow and turbulence structure past a cluster of freshwater mussels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(4), 347–358.
- Falah, A. R., Sumiadi, & Ismoyo, M. J. (2017). *Kajian Distribusi Tegangan Geser Di Saluran Menikung 120 ° Dengan Acooustic Doppler Velocimeter*.
- Fang, H. W., Liu, Y., & Stoesser, T. (2017). Influence of boulder concentration on turbulence and sediment transport in open-channel flow over submerged boulders. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 122(12), 2392–2410.
- Garde, R. J., & Raju, K. G. R. (2000). *Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems*. Taylor & Francis.
- Golpira, A., Huang, F., & Baki, A. (2020). The Effect of Habitat Structure Boulder Spacing on Near-Bed Shear Stress and Turbulent Events in a Gravel Bed Channel. *Water*, 12(5), 1423.
- Golpira, A., Koehler, K., All, A., & Baki, A. B. M. (2020). An Experimental Study: Effects of Boulder Spacing on Mean and Turbulent Flow Characteristics. *World Environmental and Water Resources Congress 2020: Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis*, 31–42.
- Hermawan, A., & Afiato, E. N. (2021). ANALISIS ANGKUTAN SEDIMEN DASAR (BED LOAD) PADA SALURAN IRIGASI MATARAM YOGYAKARTA. *Teknisia*, 20–30.
- Humairah, A. M. (2014). *Analisis Hidrolika Bangunan Krib Permeabel Pada Saluran Tanah (Uji Model Laboratorium)*. Sriwijaya University.
- Imam Rohani, (2019). *Aliran Eksternal Fluida*. Cetakan pertama, Makassar

- Ikhsan, C., Qomariyah, S., & Solichin, S. (2013). *Peningkatan Bed Shear Stress yang Berdampak Linier terhadap Stabilitas Dasar Sungai*.
- Ikhsan, C., Raharjo, A. P., Legono, D., & Kironoto, B. A. (2016). Efek Tegangan Geser Dasar yang Terjadi pada Lapisan Pelindung Terhadap Karakteristik Kemiringan Dasar Saluran. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(3), 197–202.
- Jamieson, E. C., Rennie, C. D., & Townsend, R. D. (2013a). 3D flow and sediment dynamics in a laboratory channel bend with and without stream barbs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(2), 154–166.
- Jamieson, E. C., Rennie, C. D., & Townsend, R. D. (2013b). Turbulence and vorticity in a laboratory channel bend at equilibrium clear-water scour with and without stream barbs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(3), 259–268.
- Karmaker, T., & Dutta, S. (2016). Prediction of short-term morphological change in large braided river using 2D numerical model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(10), 4016039.
- Koutrouveli, T. I., Dimas, A. A., Fourniotis, N. T., & Demetracopoulos, A. C. (2019). Groyne spacing role on the effective control of wall shear stress in open-channel flow. *Journal of Hydraulic Research*, 57(2), 167–182.
- Kumar, A., & Ojha, C. S. P. (2019). Effect of Different Compositions in Unsubmerged L-head Groynes to Mean and Turbulent Flow Characteristics. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(10), 4327–4338.
- Kurdistani, S. M., & Pagliara, S. (2017). Experimental study on cross-vane scour morphology in curved horizontal channels. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(7), 4017013.
- Latif, A. A., Pallu, M. S., Maricar, F., & Hatta, M. P. (2020). An experimental study of clay soils for preliminary data for scour model in open channels. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419(1), 12112.
- Lenhart, C. F., Smith, D. J., Lewandowski, A., Belmont, P., Gunderson, L., & Nieber, J. L. (2018). Assessment of stream restoration for reduction of sediment in a large agricultural watershed. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(7), 4018032.
- Li, Q., Zeng, Y., & Bai, Y. (2020). Mean flow and turbulence structure of open channel flow with suspended vegetation. *JOURNAL OF HYDRODYNAMICS*, 32(2), 314–325.
- Li, Q., Zeng, Y., & Zha, W. (2020). Velocity distribution and turbulence structure of open channel flow with floating-leaved vegetation. *Journal of Hydrology*, 590, 125298.
- Made Kaimana, I. (2018). Hidraulika Teknik perhitungan pada Aliran Terbuka dan Tertutup. Teknosain. Yogyakarta. Indonesia

- Mansida, A., Hatta, M. P., Pallu, M. S., & Salintung, M. (2020). Experimental study the effect of turbulent flows in bend channels as to a result of vegetation groin structure on permeable type. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419(1), 12121.
- Mansida, A., Selintung, M., Pallu, M. S., & Hatta, M. P. (2021). Measurement of Turbulent Flows and Shear Stress on Open Channels. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 841(1), 12031.
- Matinfard, A., Heidarnejad, M., & Ahadian, J. (2013). Effect of changes in the hydraulic conditions on the velocity distribution around a l-shaped spur dike at the river bend using flow-3d model. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(16), 1862–1868.
- Muhammad Saleh Pallu, (2010) Bahan Kuliah Sedimen Transpor. Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar.
- Muhammad Saleh Pallu, (2012). Teori Dasar Angkutan Sedimen di dalam Saluran Terbuka. Penerbit CV. Telaga Zamzam. Makassar.
- Muhammad Arsyad Thaha (2006). Sistem Fluidisasi Untuk Rekayasa Pemeliharaan Alur. Disertasi. Program Pasca Sarjana – UGM. Yogyakarta.
- Mona, M., Hassan, A., Ahmed, A., Gamal, A. R., & Nashat, A. (2018). *Experimental study of flow characteristics around floodplain single groyne*.
- Mostafa, M. M., Ahmed, H. S., Ahmed, A. A., Abdel-Raheem, G. A., & Ali, N. A. (2019). Experimental study of flow characteristics around floodplain single groyne. *Journal of Hydro-Environment Research*, 22, 1–13.
- Möws, R., & Koll, K. (2019). Roughness Effect of submerged groyne fields with varying length, groyne distance, and groyne types. *Water*, 11(6), 1253.
- Nyantekyi-Kwakye, B., Pahlavan, H., Clark, S. P., Tachie, M. F., & Dow, K. (2019). Roughness effect on turbulent flow structure beneath a simulated ice jam. *Journal of Hydraulic Research*, 57(2), 238–249.
- Park, J. H., Do Kim, Y., Park, Y. S., Jo, J. A., & Kang, K. (2016). Direct measurement of bottom shear stress under high-velocity flow conditions. *Flow Measurement and Instrumentation*, 50, 121–127.
- Rahim, A. A., Maricar, F., & Pongmunda, S. (2017). Pengaruh Jarak Antar Krib Terhadap Karakteristik Aliran Pada Model Saluran. *Universitas Hasanuddin. Makassar*.
- Rahim, I., Pallu, M. S., Thaha, M. A., & Maricar, F. (2017). Sediment Distribution Model for Reservoir Life Service Management. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(24), 15398–15405.
- Ray K. Linsley JR., Max A. Kohler, Joseph L.H, Yandi Hermawan (1989). Hidrologi untuk Insinyur edisi Ketiga. Gelora Aksara Pratama. Jakarta.

- RibkhiFalah, A. (2017). *Kajian Distribusi Tegangan Geser di Saluran Menikung 120o dengan Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)*. Universitas Brawijaya.
- Rodi, W. (2017). Turbulence modeling and simulation in hydraulics: A historical review. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(5), 3117001.
- Robert J. Kodoatie, (2013) *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*. Andi Yogyakarta. Yogyakarta.
- Safarzadeh, A., Salehi Neyshabouri, S. A. A., & Zarrati, A. R. (2016). Experimental investigation on 3D turbulent flow around straight and T-shaped groynes in a flat bed channel. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(8), 4016021.
- Shields Jr, F. D., Coulton, K. G., & Nepf, H. (2017). Representation of vegetation in two-dimensional hydrodynamic models. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(8), 2517002.
- Sukarno, S. (n.d.). Effects of Regularly Arrayed Roughness on Flow Resistance and Turbulent Flow Structure in an Open Channel. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(1), 96972.
- Sukhodolov, A. N., Sukhodolova, T. A., & Krick, J. (2017). Effects of vegetation on turbulent flow structure in groyne fields. *Journal of Hydraulic Research*, 55(1), 1–15.
- Suemarto, C.D., (1986). *Hidrologi Teknik*. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya Indonesia.
- Sugiyono (2018). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*. Penerbit Alfabeta, Bandung.
- Sugiyono. (2017). *Statistika Untuk Penelitian*. Penerbit Alfabeta, Bandung.
- Suwarno (1991). *Hidrologi pengukuran dan pengolahan data aliran sungai (Hidrometri)*. Nova. Bandung.
- Suripin, 2004. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Penerbit Andi Yogyakarta. Yogyakarta.
- Suripin (2019). *Mekanika Fluida dan Hidraulika Saluran Terbuka untuk Teknik Sipil*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Suyuno Sasrodarsono, Masteru Tominaga, Yusuf Gayo (1985) *Perbaikan dan pengaturan sungai*. Pradnya Paramita. Jakarta
- Streeter, V.L., E Benjamin Wylie, Arko Prijono. 1985. *Mekanika Fluida Edisi Delapan Jilid 2*. Pernebit Erlangga.Jakarta.
- Tan, L., & Curran, J. C. (2012). Comparison of turbulent flows over clusters of varying density. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(12), 1031–1044.
- Tsakiris, A. G., Papanicolaou, A. N. T., Hajimirzaie, S. M., & Buchholz, J. H. J. (2014).

- Influence of collective boulder array on the surrounding time-averaged and turbulent flow fields. *Journal of Mountain Science*, 11(6), 1420–1428.
- Vaghefi, M., Radan, P., & Akbari, M. (2019). Flow pattern around attractive, vertical, and repelling t-shaped spur dikes in a mild bend using cfd modeling. *International Journal of Civil Engineering*, 17(5), 607–617.
- Victor L. Streeter,, Wylie E.B., Arko Prijono, 1988. Mekanika Fluida. Jilid 1 Edisi Kedelapan. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Victor L. Streeter,, Wylie E.B., Arko Prijono, 1988. Mekanika Fluida. Jilid 2 Edisi Kedelapan. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Widyastuti, I., Thaha, M. A., Lopa, R. T., & Hatta, M. P. (2021). The influence of energy-reducing structure placement on friction velocity distribution in open channel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 841(1), 12019.
- Yi, Y., Zhang, S., & Wang, Z. (2013). The bedform morphology of Chinese sturgeon spawning sites in the Yangtze River. *International Journal of Sediment Research*, 28(3), 421–429.
- Zaid, B. A., & Tait, S. (2017). *Development of design guidelines for shallow groynes*. Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.
- Zaid, B., Nardone, P., Nones, M., Gerstgraser, C., & Koll, K. (2018). Morphodynamic effects of stone and wooden groynes in a restored river reach. *E3S Web of Conferences*, 40, 2038.
- Zhu, C., Hao, W., & Chang, X. (2014). Vertical velocity distribution in open-channel flow with rigid vegetation. *The Scientific World Journal*, 2014.

Lampiran 1. Analisa saringan sedimen (summary test results)

SUMMARY TEST RESULTS			
PROJECT	: SOIL INVESTIGATION REPORT UJI SEDIMENT RIVER MAROS		
LOCATION	: UJI MODEL STRUCTURE GROIN FLUM LAB HIDRAULIKA UNHAS		
BORING DEPTH	:		
TESTING METHOD	: ASTM & AASTHO SERIES	REPORTED BY : ZAINAL	
LABORATORY	: HASANUDDIN UNIVERSITY	DATE : JUNI 2021	

Number Sample		-	1	2	3	4	Remarks
Sample Code		-	Pasir Kasar	Tanah - Pasir Campur	Tanah - Pasir Sedang	Tanah - Pasir Halus	
Specific Gravity (Gs)		-	2.643	2.649	2.652	2.660	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
Grain Size	D10	%	0.101	0.161	0.158	0.162	
	D30	%	0.152	0.236	0.218	0.249	
	D60	%	0.245	0.374	0.326	0.359	
	Cu	%	2.438	0.000	2.068	2.217	
	Cc	%	0.937	0.928	0.920	0.000	
USCS Classification		-	Sp	Sp	Sp	Sp	
Atterberg Limit	Liquid Limit (LL)	%	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	
	Plastic Limit (PL)	%					
	Plasticity Index (PI)	%					
	Shrinkage Limit (SL)	%					

Lampiran 2. Analisa saringan sedimen (specific gravity test)

SPECIFIC GRAVITY TEST RESULTS									
PROJECT	: SOIL INVESTIGATION REPORT UJI SEDIMENT RIVER MAROS								
LOCATION	: UJI MODEL STRUCTURE GROIN FLUM LAB HIDRAULIKA UNHAS								
TESTING METHOD	: ASTM D 854-58(72)								
LABORATORY	: HASANUDDIN UNIVERSITY								



Bore Hole No. / Type	-								
Sample Code	-	Pasir Kasar	Tanah - Pasir Campur	Tanah - Pasir Sedang	Tanah - Pasir Halus				
Sample Depth & Inclination	-	1	2	3	4				
Number of Volumetric Flask	-	1	1	1	1				
Weight of Vol. Flask + Soil (W2)	Gram	45.7	45.8	46.7	47.2				
Weight of Vol. Flask (W1)	Gram	20.65	20.75	21.72	22.21				
Weight of Dry Soil (Ws=W2-W1)	Gram	25.00	25.00	25.00	25.00				
Temperature, T (oC)	Degree	28	28	28	28				
Weight of Vol. Flask+Water at T (W4)	Gram	68.56	68.90	68.79	76.53				
Weight of Vol. Flask+Water+Soil (W3)	Gram	84.12	84.48	84.38	92.15				
Unit Weight of Water at T, γ_T	Gram/Cm ³	0.9963	0.9963	0.9963	0.9963				
Temp. Corr. Coefficient $\alpha = \gamma_T / \gamma_{20}^{0C}$	-	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980				
Weight of Soil (Wu=(Ws+W4-W3))	Gram	9.4	9.4	9.4	9.4				
Specific Gravity of Soil (Gs= $\alpha \cdot Ws / Wu$)	-	2.643	2.649	2.652	2.660				
Remarks:	Unit Weight of Water, $\gamma_{w,20}^{0C} = 0.99823$								

Lampiran 3. Analisa saringan sedimen (sieve analysis)

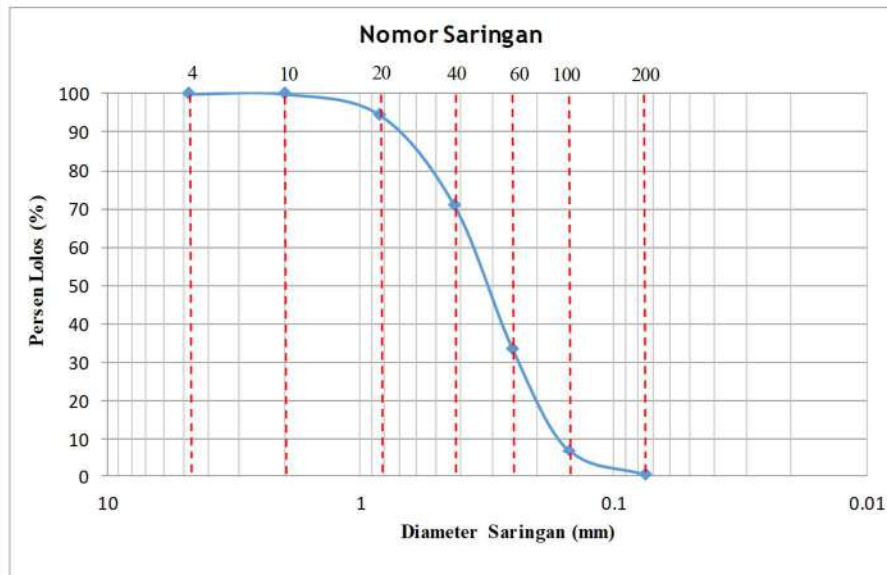
SIEVE ANALYSIS					
PROJECT	: SOIL INVESTIGATION REPORT UJI SEDIMENT RIVER MAROS				
LOCATION	: UJI MODEL STRUCTURE GROIN FLUM LAB HIDRAULIKA UNHAS				
QUARRY	:				
SAMPLE NO.	: PENELITIAN				
SAMPLING CODE	: TANAH - PASIR CAMPUR				
TESTING METHOD	: ASTM D 424-59, D 4318-(00), AASHTO T89/T90			TESTED BY	: ZAINAL
LABORATORY	: HASANUDDIN UNIVERSITY			DATE	: JUNI 2021



Hasil Perhitungan Analisa Saringan

	Sebelum	Sesudah
Berat tanah kering + Container	-	
Berat Container	-	
Berat tanah Kering	500	

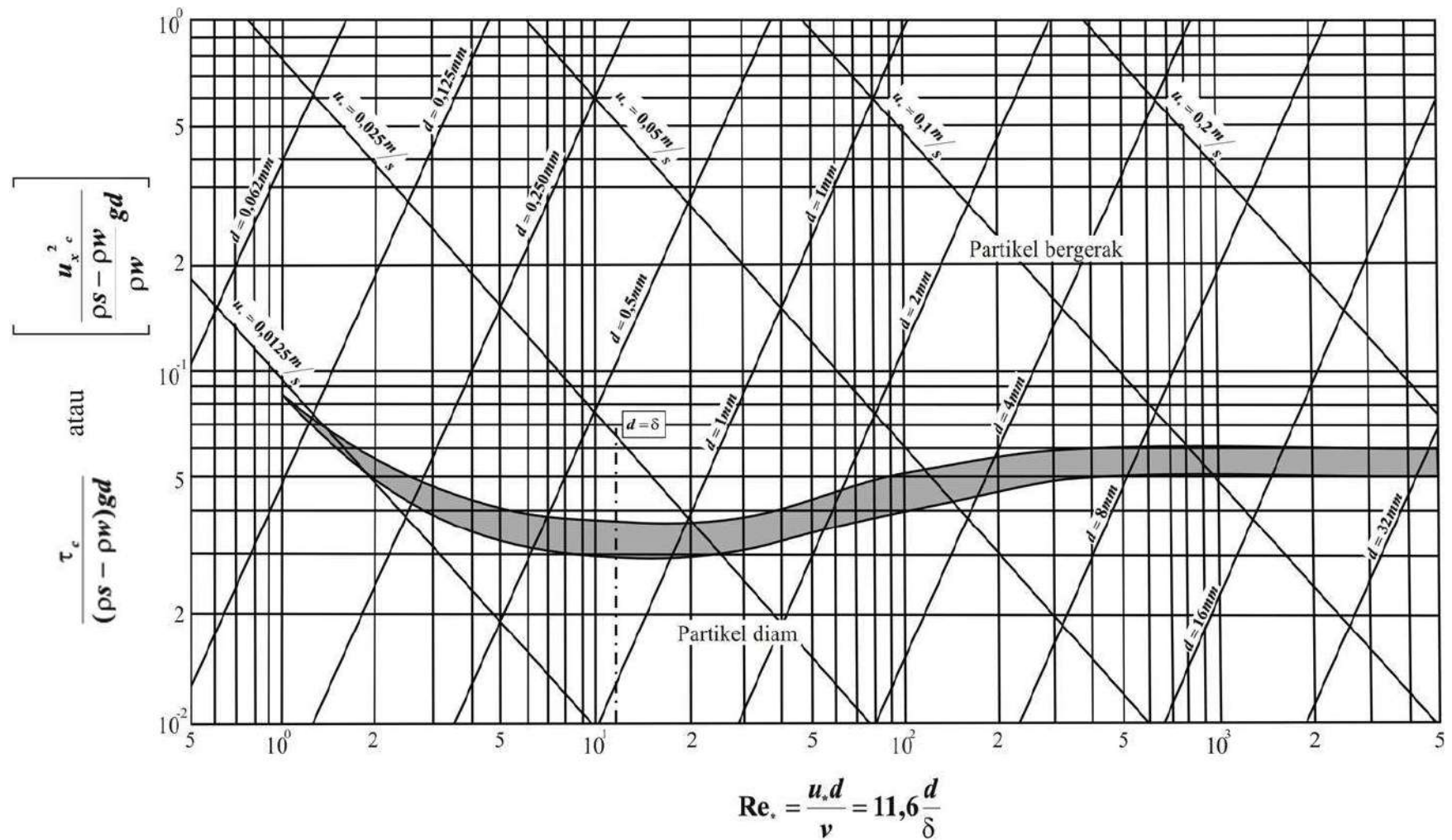
Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4.750	0	0	0.00	100.00
10	2.000	0	0	0.00	100.00
20	0.840	27	27	5.40	94.60
40	0.425	118	145	29.00	71.00
60	0.250	187	332	66.40	33.60
100	0.150	133	465	93.00	7.00
200	0.075	33	498	99.60	0.40
Pan	0.000	2	500	100.00	0.00



REKAPITULASI

	D10	D30	D60	Cu	Cc
1	0.161	0.236	0.374	2.316	0.928

Lampiran 4. Diagram Shields hubungan tegangan geser kritis dengan bilangan Reynolds untuk intensitas sedimen dasar (Breuser dan Raudkivi, 1991)



Lampiran 5.Hasil pengukuran kecepatan aliran dan analisis bilangan *Reynolds* (Re) pada krib permeable

Skenario	S	h	u	μ	Re	FD	CD Ukur
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.00056	0.0930	0.3951	8.440x10 ⁷	43.013	0.0032	24.5323
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.00189	0.0883	0.4375	8.544x10 ⁷	44.695	0.0033	22.1513
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.00267	0.0863	0.4658	8.533x10 ⁷	46.565	0.0035	20.8071
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.00056	0.0920	0.3962	8.341x10 ⁷	43.182	0.0031	24.4604
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.00189	0.0897	0.4414	8.301x10 ⁷	47.101	0.0034	21.9604
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.00267	0.0850	0.4683	8.328x10 ⁷	47.222	0.0034	20.6984
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.00056	0.0977	0.3926	8.352x10 ⁷	45.354	0.0033	24.6900
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.00189	0.0937	0.4392	8.393x10 ⁷	48.428	0.0035	22.0686
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.00267	0.0917	0.4651	8.341x10 ⁷	50.504	0.0037	20.8384
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.00056	0.0900	0.3945	8.469x10 ⁷	41.423	0.0031	24.5654
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.00189	0.0860	0.4396	8.522x10 ⁷	43.830	0.0033	22.0484
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.00267	0.0830	0.4663	8.625x10 ⁷	44.338	0.0033	20.7841
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.00056	0.1027	0.4024	8.713x10 ⁷	46.845	0.0067	24.0883
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.00189	0.0973	0.4493	8.662x10 ⁷	49.888	0.0071	21.5702
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.00267	0.0947	0.4771	8.613x10 ⁷	51.813	0.0074	20.3140
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.00056	0.0927	0.4111	8.670x10 ⁷	43.413	0.0062	23.5758
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.00189	0.0907	0.4567	8.662x10 ⁷	47.237	0.0067	21.2201
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.00267	0.0867	0.4843	8.662x10 ⁷	47.879	0.0068	20.0122
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.00056	0.1003	0.4062	8.384x10 ⁷	48.035	0.0066	23.8582
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.00189	0.0973	0.4490	8.402x10 ⁷	51.393	0.0071	21.5857
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.00267	0.0887	0.4808	8.320x10 ⁷	50.021	0.0069	20.1585
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.00056	0.0937	0.4101	8.638x10 ⁷	43.937	0.0063	23.6334
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.00189	0.0917	0.4555	8.625x10 ⁷	47.827	0.0068	21.2801
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.00267	0.0887	0.4830	8.578x10 ⁷	49.328	0.0070	20.0667

Lampiran 6. Analisis bilangan *Reynolds* dan Koefisien gaya gesek (C_D) pada krib permeabel

Skenario	u	μ	Re	FD	C_D Ukur $F / (h.dk. u^2 \rho w)$	C_D Hitung $F / (h.dk. u^2 \rho w) = -$ $0.0004 (\rho w.u.h) / \mu$ $+ 40.99$
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.3951	8.440x10 ⁷	43.013	0.0032	24.5323	23.7847
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.4375	8.544x10 ⁷	44.695	0.0033	22.1513	23.1121
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.4658	8.533x10 ⁷	46.565	0.0035	20.8071	22.3641
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.3962	8.341x10 ⁷	43.182	0.0031	24.4604	23.7174
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.4414	8.301x10 ⁷	47.101	0.0034	21.9604	22.1496
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.4683	8.328x10 ⁷	47.222	0.0034	20.6984	22.1012
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.3926	8.352x10 ⁷	45.354	0.0033	24.6900	22.8482
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.4392	8.393x10 ⁷	48.428	0.0035	22.0686	21.6190
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.4651	8.341x10 ⁷	50.504	0.0037	20.8384	20.7885
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.3945	8.469x10 ⁷	41.423	0.0031	24.5654	24.4207
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.4396	8.522x10 ⁷	43.830	0.0033	22.0484	23.4581
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.4663	8.625x10 ⁷	44.338	0.0033	20.7841	23.2547
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4024	8.713x10 ⁷	46.845	0.0067	24.0883	22.2520
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4493	8.662x10 ⁷	49.888	0.0071	21.5702	21.0349
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4771	8.613x10 ⁷	51.813	0.0074	20.3140	20.2648
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4111	8.670x10 ⁷	43.413	0.0062	23.5758	23.6247
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4567	8.662x10 ⁷	47.237	0.0067	21.2201	22.0951
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4843	8.662x10 ⁷	47.879	0.0068	20.0122	21.8385
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4062	8.384x10 ⁷	48.035	0.0066	23.8582	21.7762
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4490	8.402x10 ⁷	51.393	0.0071	21.5857	20.4327
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4808	8.320x10 ⁷	50.021	0.0069	20.1585	20.9817
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4101	8.638x10 ⁷	43.937	0.0063	23.6334	23.4151
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4555	8.625x10 ⁷	47.827	0.0068	21.2801	21.8593
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4830	8.578x10 ⁷	49.328	0.0070	20.0667	21.2587
Rata-rata C_D					22.1237	22.2688

Lampiran 7. Analisis gaya hambat $F_{D \text{ empiris}}$ dan $F_{D \text{ penel.}}$ pada krib permeable pada pengaliran (Q_1)

Skenario	U m/dt	A m ²	ρ_w (kg/m ³)	$C_{D \text{ empiris}}$	$C_{D \text{ amr}}$	$F_{D \text{ empiris}}$	$F_{D \text{ amr}}$
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.3884	0.0258	0.988	24.9544	25.5130	0.3100	0.3135
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.4308	0.0249	0.988	22.4958	24.4464	0.3207	0.3343
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.4566	0.0241	0.988	21.2257	24.0464	0.3247	0.3456
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.3909	0.0270	0.988	24.7955	24.5681	0.3176	0.3162
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.4349	0.0246	0.988	22.2881	24.3003	0.3202	0.3344
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.4610	0.0240	0.988	21.0340	23.8970	0.3256	0.3471
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.3892	0.0237	0.988	24.9052	24.9936	0.2973	0.2978
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.4307	0.0229	0.988	22.5059	25.0507	0.3073	0.3242
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.4539	0.0397	0.988	21.3521	24.9052	0.3592	0.3880
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.3908	0.0247	0.988	24.8040	26.2703	0.3042	0.3130
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.4365	0.0237	0.988	22.2023	25.2194	0.3148	0.3433
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.4613	0.0219	0.988	21.0121	25.6080	0.3109	0.3249
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.3983	0.0279	0.988	24.3322	24.2592	0.3254	0.3451
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4433	0.0265	0.988	21.8638	23.1055	0.3357	0.3260
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4693	0.0257	0.988	20.6523	22.9933	0.3357	0.3485
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4077	0.0251	0.988	23.7709	25.7468	0.3401	0.3583
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4522	0.0245	0.988	21.4332	24.5183	0.3254	0.3238
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4779	0.0234	0.988	20.2789	24.2965	0.3357	0.3538
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4029	0.0267	0.988	24.0556	24.5281	0.3401	0.3238
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4474	0.0246	0.988	21.6621	23.9242	0.3132	0.3414
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4741	0.0245	0.988	20.4450	22.8707	0.3259	0.3529
DKDSQ ₁ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4072	0.0282	0.988	23.8043	23.7501	0.3273	0.3310
DKDSQ ₁ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4533	0.0244	0.988	21.3804	24.2800	0.3207	0.3470
DKDSQ ₁ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4802	0.0238	0.988	20.1848	23.8035	0.3248	0.3593
Rata-rata				22.3929	24.4539	0.3228	0.3379

Lampiran 8. Analisis gaya hambat $F_{D \text{ empiris}}$ dan $F_{D \text{ penel.}}$ pada krib permeable pada pengaliran (Q_2)

Skenario	U m/dt	A m ²	ρ_w (kg/m ³)	C_D empiris	C_D amr.	F_D empiris	F_D amr.
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.3951	0.0283	0.988	24.5323	23.7847	0.3270	0.3220
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.4375	0.0269	0.988	22.1513	23.1121	0.3354	0.3426
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.4658	0.0262	0.988	20.8071	22.3641	0.3422	0.3546
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.3962	0.0280	0.988	24.4604	23.7174	0.3258	0.3208
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.4414	0.0273	0.988	21.9604	22.1496	0.3394	0.3409
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.4683	0.0258	0.988	20.6984	22.1012	0.3404	0.3517
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.3926	0.0278	0.988	24.6900	22.8482	0.3272	0.3147
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.4392	0.0279	0.988	22.0686	21.6190	0.3423	0.3388
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.4651	0.0326	0.988	20.8384	20.7885	0.3812	0.3808
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.3945	0.0274	0.988	24.5654	24.4207	0.3215	0.3206
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.4396	0.0261	0.988	22.0484	23.4581	0.3317	0.3422
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.4663	0.0252	0.988	20.7841	23.2547	0.3357	0.3551
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4024	0.0312	0.988	24.0883	22.2520	0.3468	0.3333
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4493	0.0296	0.988	21.5702	21.0349	0.3568	0.3524
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4771	0.0288	0.988	20.3140	20.2648	0.3626	0.3622
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4111	0.0282	0.988	23.5758	23.6247	0.3330	0.3534
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4567	0.0276	0.988	21.2201	22.0951	0.3472	0.3643
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4843	0.0263	0.988	20.0122	21.8385	0.3496	0.3652
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4062	0.0305	0.988	23.8582	21.7762	0.3445	0.3291
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4490	0.0296	0.988	21.5857	20.4327	0.3567	0.3470
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4808	0.0270	0.988	20.1585	20.9817	0.3323	0.3394
DKDSQ ₂ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4101	0.0285	0.988	23.6334	23.4151	0.3344	0.3329
DKDSQ ₂ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4555	0.0279	0.988	21.2801	21.8593	0.3486	0.3533
DKDSQ ₂ S ₃ d _{k2} K _{k2} L _{k2}	0.4830	0.0270	0.988	20.0667	21.2587	0.3531	0.3634
Rata-rata				22.1237	22.2688	0.3431	0.3446

Lampiran 9. Analisis gaya hambat $F_{D \text{ empiris}}$ dan $F_{D \text{ penel.}}$ pada krib permeable pada pengaliran (Q_3)

Skenario	U m/dt	A m ²	ρ_w (kg/m ³)	$C_{D \text{ empiris}}$	$C_{D \text{ amr.,}}$	$F_{D \text{ empiris}}$	$F_{D \text{ amr}}$
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.3951	0.0283	0.988	24.2276	21.5935	0.3508	0.3312
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.4375	0.0269	0.988	21.7292	19.8409	0.3663	0.3500
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k1}	0.4658	0.0262	0.988	20.5305	19.2056	0.3707	0.3586
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.3962	0.0280	0.988	24.1462	21.0744	0.3508	0.3278
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.4414	0.0273	0.988	21.5884	19.7560	0.3621	0.3464
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k1} k _{k1} L _{k2}	0.4683	0.0258	0.988	20.3080	19.3564	0.3646	0.3559
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.3926	0.0278	0.988	24.4578	20.8700	0.3430	0.3169
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.4392	0.0279	0.988	21.8645	19.5875	0.3489	0.3302
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k1}	0.4651	0.0326	0.988	20.5286	19.7390	0.3601	0.3531
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.3945	0.0274	0.988	24.3051	22.0586	0.3407	0.3246
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.4396	0.0261	0.988	21.7884	20.6155	0.3538	0.3442
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k1} k _{k2} L _{k2}	0.4663	0.0252	0.988	20.4504	20.5561	0.3543	0.3552
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4024	0.0312	0.988	23.7481	19.7369	0.3669	0.3345
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4493	0.0296	0.988	21.3146	17.7560	0.3833	0.3499
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k1}	0.4771	0.0288	0.988	20.0615	16.5486	0.3891	0.3534
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4111	0.0282	0.988	23.4343	21.0559	0.3561	0.3376
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4567	0.0276	0.988	21.0423	20.0544	0.3650	0.3563
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k2} k _{k1} L _{k2}	0.4843	0.0263	0.988	19.8890	19.1318	0.3716	0.3644
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4062	0.0305	0.988	23.6569	20.1784	0.3572	0.3299
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4490	0.0296	0.988	21.2460	18.7985	0.3692	0.3473
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k1}	0.4808	0.0270	0.988	20.0357	18.7985	0.3740	0.3566
DKDSQ ₃ S ₁ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4101	0.0285	0.988	23.4468	21.3364	0.3526	0.3564
DKDSQ ₃ S ₂ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4555	0.0279	0.988	21.0995	19.8405	0.3651	0.3540
DKDSQ ₃ S ₃ d _{k2} k _{k2} L _{k2}	0.4830	0.0270	0.988	19.8997	19.8564	0.3664	0.3660
Rata-rata				21.8666	19.8650	0.3618	0.3450