

SKRIPSI

ANALISIS GERUSAN LOKAL

DISEKITAR ABUTMEN SUDUT PERALIHAN 30° AKIBAT PERUBAHAN

PARAMETER ALIRAN

(UJI LABORATORIUM)



PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2020

ANALISIS GERUSAN LOKAL

DISEKITAR ABUTMEN SUDUT PERALIHAN 30° AKIBAT PERUBAHAN

PARAMETER ALIRAN

(UJI LABORATORIUM)

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Guna Memperoleh Gelar Sarjana

**Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Makassar**

Oleh :

ABDUL SAHID
105 81 1907 13

JULKIFLI
105 81 1939 13

PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2020

19/08/2020

1 sy
Sub. Alami

P/053/SIP/2020

SAH
01



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Kripsi atas nama Abdul Sahid dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 1907 13 dan Julkifli dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 1939 13, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0007/SK-Y/22201/091004/2020, sebagai salah satu syarat utama memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 22 Februari 2020.

Makassar, 25 Dzulhijjah 1441 H
15 Agustus 2020 M

Panelitia Ujian :

Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M. Ag.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

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

Penguji :

a. Ketua : Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, ST., MT., IPM

b. Sekretaris : Fausiah Latief, ST., MT

Anggota: 1. Dr. Ir. Nenny T Karim, ST., MT., IPM

2. Amrullah Mansida, ST., MT., IPM

3. Mahmuddin, ST., MT., IPM

Mengetahui :

Pembimbing I

Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST., MT., IPM

Pembimbing II

Lufti Hair Djunur, ST., MT

Dekan


Dr. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM
NBM : 855 500



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS GERUSAN LOKAL DISEKITAR ABUTMENT SUDUT PERALIHAN 30° AKIBAT PERUBAHAN PARAMETER ALIRAN**

Nama : **ABDUL SAHID
JULKIFLI**

Stambuk : **105 81 1907 13
105 81 1939 13**

Makassar, 15 Agustus 2020

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST., MT., IPM

Lutfi Hair Djunur, ST., MT

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Pengairan



Andi Makhul Syamsuri, ST., MT.

NBM : 1183 084

ANALISIS GERUSAN LOKAL DISEKITAR ABUTMENT SUDUT PERALIHAN 30° AKIBAT PERUBAHAN PARAMETER ALIRAN

Julkifli¹⁾, Abdul Sahid¹⁾ Dr.Ir.hj. Nurnawaty, ST.,MT.,IPM²⁾ Lutfi Hair Djunur, ST.,MT³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

²⁾Dosen Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah makassar

³⁾Dosen Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Jl Sultan Alaudin No.259, Makassar 90221, Indonesia

e-mail: Julkiflisipil@gmail.com , stilsahid@gmail.com

ABSTRAK

Abutment merupakan bangunan jembatan yang terletak di pinggir sungai, yang dapat mengakibatkan perubahan pola aliran. runtuhnya bangunan jembatan bukan hanya disebabkan oleh faktor konstruksi, namun persoalan gerusan disekitar abutment jembatan juga bisa menjadi penyebab lainnya, hal ini di tunjukan karena proses gerusan yang terjadi secara terus menerus sehingga terjadi penurunan pada pangkal abutment. Untuk melindungi abutment dari bahaya penggerusan maka diperlukan desain yang mampu meredam energi sehingga mampu memperkecil gerusan yang terjadi, salah satu peredam yang digunakan yaitu abutment sudut peralihan 30°. Penelitian ini bertujuan Untuk mengetahui berapa besar perubahan gerusan serta volume gerusan lokal yang terjadi disekitar abutment jembatan sudut peralihan 30°. Penelitian ini menggunakan 2 model abutment dengan 3 variasi waktu. Hasil penelitian menunjukan bahwa abutment sudut peralihan 30° lebih efektif untuk mengurangi gerusan lokal yang terjadi disekitaran abutment.

Kata kunci : Abutment, parameter Aliran dan gerusan.

ABSTRACT

Abutment is a bridge building located on the edge of a river, which can cause changes in flow patterns. The collapse of the bridge building is not only caused by construction factors, but the scouring problem around the bridge abutment can also be another cause, this is shown because the scouring process occurs continuously so that there is a decrease at the base of the abutment. To protect the abutment from the danger of scouring, a design that is able to reduce energy is needed so that it is able to minimize the scour that occurs. One of the dampers used is the 30° shift angle abutment. This study aims to determine how much the change of local scouring and volume of scour around the bridge abutment transition angle of 30°. This study used 2 abutment models with 3 time variations. The results showed that the 30° shift angle abutment was more effective in reducing local scouring that occurred around the abutment.

Key words: Abutment scour, and Flow parameters.

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah segala puji dan pujian kami panjatkan kepada Allah SWT, tuhan yang berhak menerima pujian atas semua rahmat, nikmat dan hidayahnya sehingga kami dapat menyusun penelitian ini sebagai skripsi tugas akhir, kami selesaikan dengan baik walaupun masih banyak kekurangannya.

Hasil Penelitian ini kami susun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh untuk menyelesaikan program studi pada Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah "***Analisis Gerusan Lokal Disekitar Abutment Sudut Peralihan 30° Akibat Perubahan Parameter Aliran***".

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa didalam penulisan penelitian ini masih terdapat kekurangan - kekurangan, hal ini disebabkan karena penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan – perhitungan. Oleh karena itu, penulis menerima dengan sangat ikhlas dengan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Hasil penelitian ini sebagai tugas akhir dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang setinggi – tingginya kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar - besarnya atas segala limpahan kasih sayang, do'a serta pengorbanannya terutama dalam bentuk materi untuk menyelesaikan kuliah kami.
2. Bapak Ir. Hamzah Ali Imran, S.T., M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Andi Makbul Syamsul, S.T., M.T. sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Ibu Dr. Ir. HJ. Numawaty S.T., M.T., IPM. selaku Pembimbing I dan Bapak Lutfi Hari Djunur, S.T., M.T. selaku Pembimbing II, yang banyak meluangkan waktu dalam membimbing kami.
5. Bapak dan Ibu dosen serta para staf pegawai di Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara-saudaraku mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus angkatan RADICAL 2013 yang dengan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi tugas akhir ini.

7. Serta Adik-adik junior mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi hasil tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi tugas akhir yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Aamiin.

"Billahi Fii Sabill Haq Fastabiqul Khaerat".

Makassar,2020

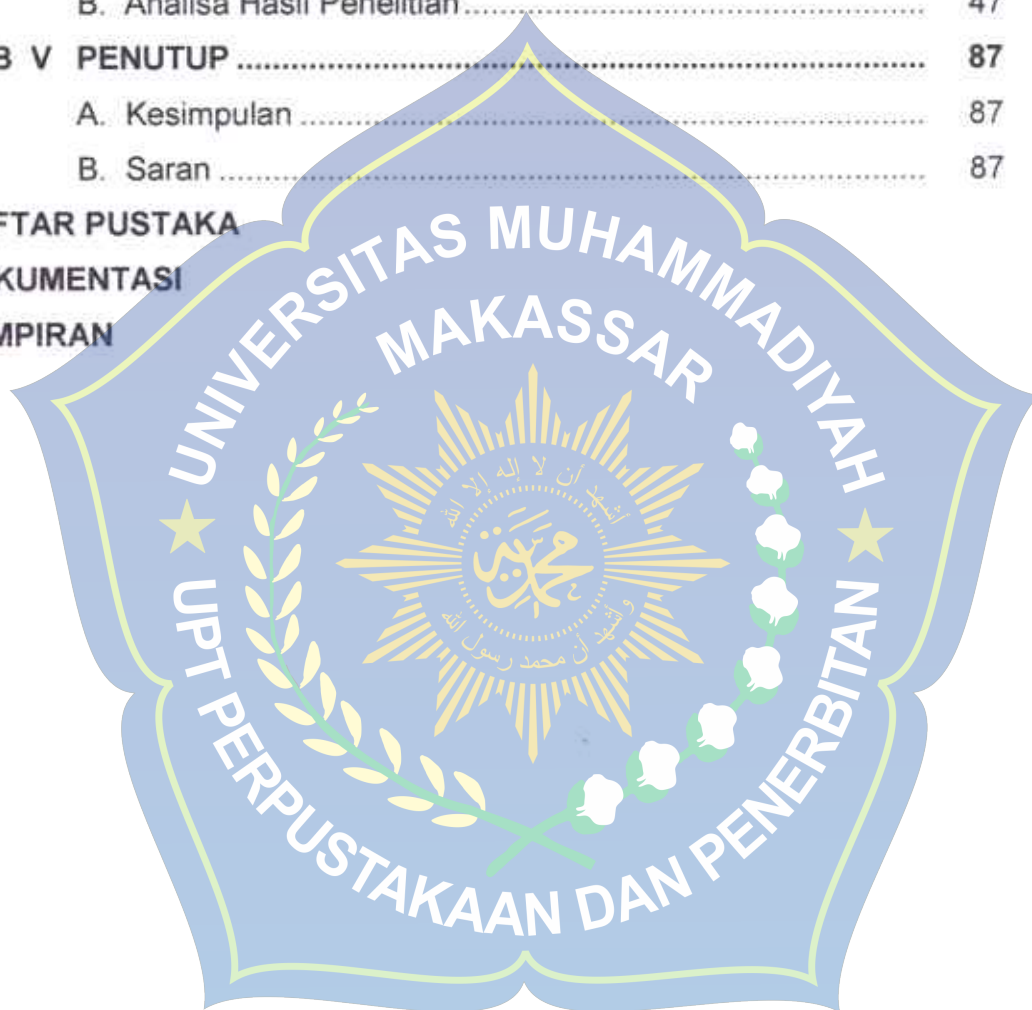
Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	5
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Pengertian Gerusan	7
B. Mekanisme Gerusan	9
C. Faktor Yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan	12
D. Persamaan Empiris	16
E. Awal Gerak Butiran	18
F. Matrik Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODE PENELITIAN	31
A. Tempat dan Waktu Penelitian	31
B. Model Penelitian	31
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	32
D. Bahan dan Alat	33
E. Variabel Yang Diteliti	33
F. Perancangan Model	35
G. Langkah- Langkah Penelitian	37
H. Penentuan Perubahan Penampang Saluran	37

I. Pencatatan Data	38
J. Prosedur Penelitian	39
K. Program Surfer.....	41
L. Diagram Alur Penelitian	43
BAB IV HASIL PERHITUNGAN	44
A. Data Hasil Penelitian	44
B. Analisa Hasil Penelitian	47
BAB V PENUTUP	87
A. Kesimpulan	87
B. Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	
DOKUMENTASI	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Mekanisme gerusan akibat pola aliran air di sekitar abutmen (breuser dan Raudkivi 1991)	10
Gambar 2.	Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu (Breuser dan Raudkivi 1991)	11
Gambar 3.	Hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan aliran (breusers 1997).....	12
Gambar 4.	Hubungan koefisien aliran (K_d) dan kedalaman relatif (Y_o/b) dengan ukuran relatif (b/d_{50}) Breuser dan Raudkivi (1999)	13
Gambar 5.	Koefisien simpangan baku ($K\sigma$) fungsi standar deviasi geometri ukuran butira (Breuser dan Raudkivi, 1991).....	14
Gambar 6.	Macam – macam model abutmen (Breuser dan Raudkivi : 1991).....	16
Gambar 7.	Diagram shields, hubungan tegangan geser kritis dengan bilangan reynolds	20
Gambar 8.	Perletakan model saluran atau flume	31
Gambar 9.	Denah abutment	35
Gambar 10.	Detail tampak atas abutmet sudut peralihan 30°	36
Gambar 11.	Detail tampak atas abutmet tanpa sudut peralihan	36
Gambar 12.	Perletakan pias untuk titikpengamatan	36
Gambar 13.	Pengambilan data saat pengaliran	39
Gambar 14.	Pengambilan data setelah pengaliran.....	39
Gambar 15.	Material pasir yang di gunakan.....	40
Gambar 16.	Contoh hasil pengolahan data menggunakan surfer	42
Gambar 17.	Bagan alur penelitian	43
Gambar 18.	Grafik hubungan antara kecepatan dan debit aliran	46

Gambar 19. Hubungan elevasi dasar saluran dengan jarak antar titik pias menggunakan abutment tanpa sudut peralihan	51
Gambar 20. Hubungan elevasi dasar saluran dengan jarak antar titik pias menggunakan abutment sudut peralihan 30°	53
Gambar 21. Hubungan elevasi dasar saluran dengan jarak antar titik pias menggunakan abutment tanpa sudut peralihan	55
Gambar 22. Hubungan elevasi dasar saluran dengan jarak antar titik pias menggunakan abutment sudut peralihan 30°	57
Gambar 23. Hubungan elevasi dasar saluran dengan jarak antar titik pias menggunakan abutment tanpa sudut peralihan	59
Gambar 24. Hubungan elevasi dasar saluran dengan jarak antar titik pias menggunakan abutment sudut peralihan 30°	61
Gambar 25. kontur hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0009 \text{ m}^3/\text{detik}$	62
Gambar 26. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0009 \text{ m}^3/\text{detik}$	63
Gambar 27. kontur hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0009 \text{ m}^3/\text{detik}$	64
Gambar 28. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0009 \text{ m}^3/\text{detik}$	64
Gambar 29. kontur hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran dan $Q=0,00091 \text{ m}^3/\text{detik}$	66
Gambar 30. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran dan $Q=0,00091 \text{ m}^3/\text{detik}$	66
Gambar 31. kontur hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,00091 \text{ m}^3/\text{detik}$	67
Gambar 32. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,00091 \text{ m}^3/\text{detik}$	68
Gambar 33. kontur hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0011 \text{ m}^3/\text{detik}$	69
Gambar 34. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0011 \text{ m}^3/\text{detik}$	69
Gambar 35. kontur hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0011 \text{ m}^3/\text{detik}$	71

Gambar 36. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0011 \text{ m}^3/\text{detik}$	71
Gambar 37. grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutment tanpa sudut peralihan	75
Gambar 38. grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutmen sudut peralihan 30°	75
Gambar 39. grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutment tanpa sudut peralihan	76
Gambar 40. grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutment tanpa peralihan 30°	76
Gambar 41. grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutment tanpa sudut peralihan	77
Gambar 42. grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutment sudut peralihan 30°	77
Gambar 43. Grafik persentase gerusan pada abutment.....	85



DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Hasil perhitungan debit aliran.....	46
Tabel 2.	Hasil perhitungan bilangan Reynold dan Fraude dengan abutment tanpa sudut peralihan	48
Tabel 3.	Hasil Perhitungan bilangan Reynold dan Fraude dengan abutment sudut peralihan 30°	49
Tabel 4.	Perubahan penampang untuk t=5 menit dan Q=0,0009 m ³ /detik abutment tanpa sudut peralihan	51
Tabel 5.	Perubahan penampang saluran t= 5 menit dan Q=0,0009 m ³ /detik abutment sudut peralihan 30°	53
Tabel 6.	Perubahan penampang untuk t=10 menit dan Q=0,00091 m ³ /detik abutment tanpa sudut peralihan	55
Tabel 7.	Perubahan penampang saluran t=10 menit dan Q=0,00091 m ³ /detik abutment sudut peralihan 30°	57
Tabel 8.	Perubahan penampang untuk t=15 menit dan Q=0,0011 m ³ /detik abutment tanpa sudut peralihan	59
Tabel 9.	Perubahan penampang saluran t=15 menit dan Q=0,0011 m ³ /detik abutment tanpa sudut peralihan 30°	61
Tabel 10.	Presentase volume gerusan abutment tanpa sudut peralihan	79
Tabel 11.	Presentase volume gerusan abutment tanpa sudut peralihan	82
Tabel 12.	Rekap persentase gerusan	85

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sungai sangat penting peranannya bagi kehidupan manusia. Karena ketika dilihat dari pemanfaatannya yang makin lama makin kompleks, mulai dari sarana transportasi, sumber air baku, sumber tenaga listrik dan sebagainya. Sungai merupakan suatu saluran drainase yang terbentuk secara alami yang mempunyai fungsi sebagai saluran.

Saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka. Menurut asalnya saluran dapat digolongkan menjadi saluran alam (natural) dan saluran buatan (artificial). Saluran alam meliputi semua alur air yang terdapat secara alamiah di bumi, mulai dari anak selokan kecil di pegunungan, selokan kecil, sungai kecil, sungai besar, sampai ke muara sungai.

Dalam perencanaan konstruksi jembatan harus di perhitungkan beberapa aspek seperti letak jembatan, aspek hidraulik sungai serta bentuk abutment yang akan memberikan pola aliran di sekitarnya. Struktur jembatan umumnya terdiri dari 2 (dua) bangunan penting yaitu, struktur bangunan atas dan struktur bangunan bawah. Salah satu struktur utama bangunan bawah jembatan adalah abutment jembatan yang selalu berhubungan langsung dengan aliran air sungai. Aliran yang terjadi pada sungai biasanya disertai proses penggerusan atau erosi dan endapan sedimen atau deposisi.

Gerusan (scouring) merupakan suatu proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh morfologi sungai (dapat berupa tikungan atau bagian penyempitan aliran sungai) atau adanya bangunan air (*hydraulic structur*) seperti jembatan, bendung, pintu air dan lain-lain. Morfologi sungai merupakan salah faktor yang menentukan dalam proses terjadinya gerusan, hal ini disebabkan aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas (*free surface*). Adanya bangunan air menyebabkan perubahan karakteristik aliran seperti kecepatan dan atau turbulensi sehingga menimbulkan transfer sedimen dan terjadinya gerusan. Adanya abutment jembatan akan menyebabkan perubahan pola aliran sungai dan terbentuknya dimensi aliran di sekitar abutment tersebut. Perubahan pola aliran tersebut akan menimbulkan terjadinya gerusan lokal di sekitar konstruksi abutment.

Gerusan yang dihasilkan secara langsung akibat adanya suatu bangunan dinamakan gerusan lokal (*lokal scouring*). Proses terjadinya gerusan lokal biasanya dipicu oleh tertahannya angkutan sedimen yang di bawa bersama aliran oleh struktur bangunan dan peningkatan turbulensi aliran akibat gangguan suatu struktur.

Abutment merupakan bangunan jembatan yang terletak di pinggir sungai, yang dapat mengakibatkan perubahan pola aliran. Bangunan seperti abutment jembatan selain dapat merubah pola aliran juga dapat menimbulkan perubahan bentuk dasar saluran penggesuran. Gerusan

lokal yang terjadi pada abutment biasanya terjadi pada bagian hulu abutment dan proses deposisi pada bagian hilir abutment.

Banyak kasus-kasus tentang runtuhnya bangunan jembatan bukan hanya di sebabkan oleh faktor konstruksi, namun persoalan gerusan disekitar abutment jembatan juga bisa menjadi penyebab lainnya, hal ini di tunjukan karena proses gerusan yang terjadi secara terus menerus sehingga terjadi penurunan pada pangkal abutment.

Dampak dari gerusan lokal harus di waspadai karena dapat berpengaruh pada penurunan stabilitas keamanan bangunan air. Mengingat kompleks dan pentingnya permasalahan di atas, kajian tentang gerusan lokal (lokal scouring) di sekitar abutment jembatan yang terdapat pada sungai akibat adanya pengaruh kedalaman aliran perlu mendapat aliran secara khusus, sehingga nantinya dapat di ketahui mengenai pola aliran, pola gerusan dan kedalaman gerusan yang terjadi dan selanjutnya dapat pula di cari upaya pengendalian dan pencegahan gerusan pada abutment jembatan.

Berdasarkan uraian di atas maka penulis tertarik untuk mengangkat tema tersebut kedalam tugas akhir dengan judul ***"Analisis Gerusan Lokal Disekitar Abutment Sudut Peralihan 30° Akibat Perubahan Parameter Aliran"***

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Berapa besar perubahan gerusan lokal disekitar abutment jembatan sudut peralihan 30° akibat kedalaman, kecepatan dan lama pengaliran ?
2. Bagaimana perubahan volume gerusan di sekitar abutment ?

C. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui berapa besar perubahan gerusan lokal disekitar abutment jembatan sudut peralihan 30° akibat kedalaman, kecepatan dan lama pengaliran.
2. Untuk mengetahui volume gerusan yang terjadi di sekitar abutment .

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang ingin di capai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Secara teoritik, penelitian ini bermanfaat guna pengembangan ilmu Hidrolika di jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Untuk mengetahui karakteristik aliran di sekitar abutment jembatan.
3. Untuk mengetahui pola gerusan disekitar abutment dengan menggunakan variasi sudut peralihan 30° .
4. Untuk mengetahui kemiringan optimal dari penggunaan abutment sebagai pelindung jembatan.

5. Dapat menjadi masukan bagi berbagai pihak yang berkaitan dengan konstruksi abutmen jembatan atau bangunan air lainnya.

E. Batasan Masalah

Untuk menghindari pembahasan yang luas serta memudahkan dalam penyelesaian masalah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, Maka kami membatasi pembahasan batasan masalah dalam penelitian ini anantara lain adalah sebagai berikut:

1. Model yang digunakan adalah pada model flume laboratorium Hidrolika
2. Material dasar yang digunakan adalah pasir dengan diameter tertentu
3. Membahas tentang karakteristik aliran dan pola gerusan di sekitar abutment
4. Menggunakan model desain abutment dengan kemiringan sudut peralihan 30°
5. Pengukuran dilakukan pada permukaan flume

F. Sistematika penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan skripsi ini yaitu :

Bab 1, Pendahuluan yang meliputi Latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab II Kajian pustaka yang meliputi : teori singkat yang digunakan dalam menyelesaikan dan membahas permasalahan penelitian.

Bab III, Metode penelitian yang meliputi : metodologi penelitian mencakup lokasi penelitian, model flume, jenis penelitian dan sumber data, bahan dan alat, variable yang diteliti, perancangan model, langkah-langkah penelitian, pencatan data dan bagan alur penelitian.

Bab IV, Analisis dan data hasil perhitungan yang membahas terkait dengan analisis kedalaman aliran, kecepatan aliran, debit aliran, dan analisis perubahan dasar saluran, pola gerusan, dan volume gerusan.

Bab V, penutup meliputi kesimpulan dan saran



BAB II

LANDASAN TEORI

Sungai sangat penting peranannya bagi kehidupan manusia. Kita semua dapat melihatnya dari pemanfaatan sungai yang makin lama makin kompleks, mulai dari sarana dan prasarana, transportasi, sumber air baku, sumber tenaga listrik dan sebagainya.

Menurut Triatmodjo (1996 : 104) sungai atau saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai, variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya.

A. Pengertian gerusan

Menurut hoffmanss dan verheij (1997) dalam abdurroshyid dkk (2007), gerusan merupakan erosi pada dasar dan tebing saluran alluvial. Sedangkan gerusan menurut legono (1990) dalam abdurroshyid dkk (2007) gerusan merupakan proses semakin dalamnya dasar sungai karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai. Proses penggerusan akan terjadi secara alami, baik karena pengaruh morfologi sungai seperti tikungan sungai atau penyempitan aliran sungai atau pengaruh bangunan hidrolika yang menghalangi aliran seperti abutmen jembatan.

Gerusan merupakan proses alam yang mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan didaerah aliran air. Penambahan gerusan akan

terjadi jika ada perubahan setempat dari geometri sungai, seperti karakteristik tanah dasar setempat dan adanya halangan pada aliran sungai berupa bangunan sungai. Adanya halangan tersebut akan menyebabkan perubahan pola aliran yang mengakibatkan terjadinya gerusan lokal disekitar bangunan tersebut. Menurut loursen (1952) dalam sucipto (2010), gerusan didefinisikan sebagai pembesaran dari suatu aliran yang di sertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan lokal (local scouring) terjadi pada suatu kecepatan aliran dimana sedimen yang di transpor lebih besar dari sedimen yang disuplai.

Gerusan lokal dipengaruhi langsung dari bentuk pola aliran. Penggerusan lokal (Garde dan Raju, 1997) 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. Penggerusan lokal pada material dasar dapat terjadi secara langsung oleh kecepatan aliran sedemikian rupa sehingga daya tahan material terlampaui. Secara teoritik tegangan geser yang terjadi lebih besar dari tegangan geser kritis dari butiran dasar.

Menurut Raudkivi dan Ettema (1982) dalam gunawan (2006) ada beberapa tipe gerusan antara lain yaitu :

1. Gerusan umum di alur sungai tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidak adanya bangunan sungai.

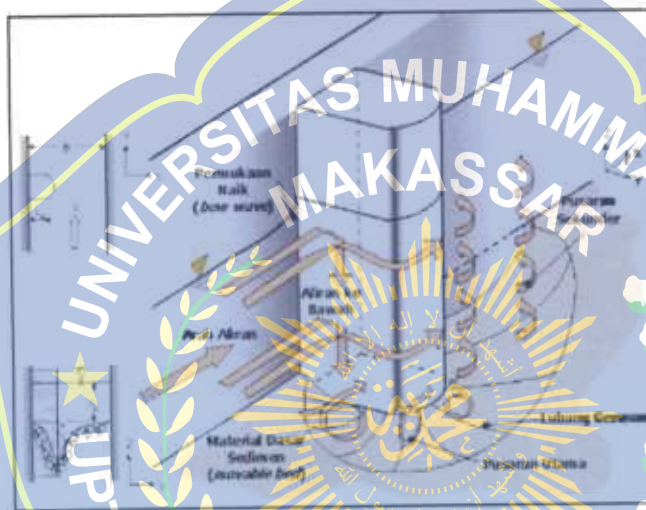
2. Gerusan lokal di alur sungai terjadi karena penyempitan aliran sungai menjadi terpusat.
3. Gerusan lokal disekitar bangunan terjadi karena pola aliran lokal disekitar bangunan sungai.

Gerusan dari jenis 2 dan 3 selanjutnya dapat dibedakan menjadi gerusan dengan air bersih (*clear water scour*) maupun gerusan dengan air bersedimen (*live bed scour*). Gerusan dengan air bersih berkaitan dengan suatu keadaan dimana dasar sungai di sebelah hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada material yang terangkut) atau secara teoritik $\tau_c > \tau_0$. Sedangkan gerusan dengan air bersedimen terjadi ketika kondisi aliran dalam saluran menyebabkan material dasar bergerak. Peristiwa ini menunjukkan bahwa tegangan geser pada saluran lebih besar dari nilai kritisnya atau secara teoritik $\tau_c > \tau_0$.

B. Mekanisme Gerusan

Menurut Yulistianto dkk. (1998) dalam abdurrasyid dkk (2007), gerusan yang terjadi di sekitar abutment jembatan adalah akibat sistem pusaran (*vortexsystem*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh bangunan tersebut sistem pusaran yang menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu abutmen yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah, karena aliran yang datang dari hulu di halangi oleh abutmen, maka aliran akan berubah arah menjadi arah vertikal menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan abutment selanjutnya diteruskan ke hilir. Aliran arah vertikal

ini akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran. Di dekat dasar saluran komponen aliran terbalik arah vertikal ke atas, peristiwa ini di ikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Hal ini akan terus berlanjut hingga terjadi keseimbangan. Mekanisme gerusan lokal akibat pola aliran di sekitar abutmen ini dapat dilihat pada gambar



Gambar 1. Mekanisme gerusan akibat pola aliran air di sekitar abutment (breuser dan Raudkivi 1991)

Gerusan lokal di klasifikasikan menjadi *clear water scour* dan *live bed scour* (miller 2003). Bila tidak ada perpindahan sedimen fenomena ini di sebut *clear water scour*, dan pada saat sedimen mulai bergerak dari bed menjauhi struktur, proses ini di sebut *live bed scour*. Sedangkan bila sedimen tidak lagi bergerak dan berpindah dari lubang gerusan atau terjadi keseimbangan pada saat perubahan aliran proses ini disebut *equilibrium*.

Chabert dan Engeldinger (1956) dalam breuser dan 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. Sedangkan breuser dan raudkivi (1991) menyatakan bahwa kedalaman gerusan maksimum merupakan fungsi kecepatan geser, seperti pada gambar



Gambar 2. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu (Breuser dan Raudkivi 1991)

Menurut larsen (1952) dalam legono (1990) sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut :

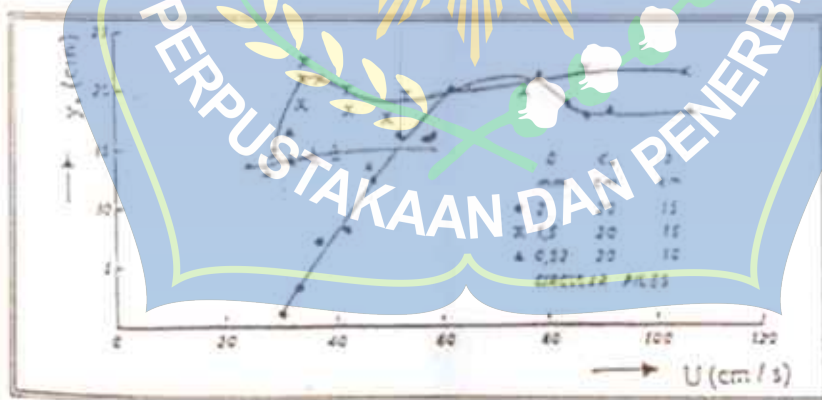
1. Besar gerusan akan sama dengan selisih antara jumlah material yang di transpor keluar daerah gerusan dengan jumlah material yang ditranspor masuk kedalam daerah gerusan.
2. Besar gerusan berkurang apabila penampang basah di daerah gerusan bertambah (misalnya karena erosi).
3. Untuk kondisi aliran akan terjadi suatu keadaan gerusan yang di sebut gerusan batas, besarnya akan asimtotik terhadap waktu.

C. Faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan

Menurut Brouers dan Raudkivi (1991) Kedalaman gerusan tergantung dari beberapa variabel, yaitu karakteristik fluida, material dasar, aliran dalam dan bentuk abutmen jembatan.

1. Kecepatan aliran

Menurut brouers (1977) dalam Hanwar (1999), perkembangan proses gerusan tergantung pada kecepatan aliran dan intensitas turbulen pada transisi antara fixed dan erodible bed, oleh karena itu tidak diperlukan informasi mengenai kecepatan dan turbulensi dekat dasar pada lubang gerusan. Chabert dan Engeldinger (1956) Dalam Hanwar (1999) menyimpulkan bahwa kedalaman gerusan maksimum di peroleh pada kecepatan yang mendekati kecepatan aliran kritis, sedangkan gerusan mulai kira-kira pada setengah kecepatan aliran kritis, seperti pada gambar.



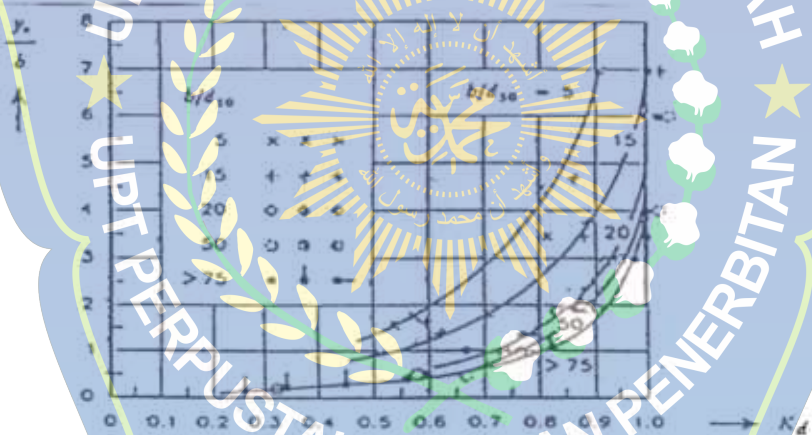
Gambar 3. Hubungan kedalaman gerusan dengan kecepatan Aliran (breusers 1997)

2. Kedalaman aliran

Gerusan yang terjadi di pengaruhi oleh kedalaman dasar sungai dari muka air (tinggi aliran zat air), maka kecepatan U^*/U^*c dan kedalaman relatif (y_o/b) merupakan faktor penting untuk mengestimasi kedalaman gerusan lokal ini. Neil (1964) dalam Breuser (1991) kedalaman gerusan lokal merupakan fungsi dari tinggi aliran dengan persamaan berikut :

$$Y_s/Y_o = 1.5 (b/Y_o)^{0.07} \quad (1)$$

Keseimbangan gerusan lokal pada aliran rendah akan tercapai jika telah terjadi kesamaan nilai dari Y_o/b , pengaruh dari Y_o/b tidak dapat di bedakan antara kondisi *clear water scour* dan *live bed scour*. Pada U^*/U^*c yang konstan, pengaruh dari kedalaman aliran dapat di abaikan untuk $Y_o/b \geq 2$. Korelasi antara kedalaman relatif (Y_o/b) dan koefisien kedalaman air (K_d) seperti pada gambar.



Gambar 4. Hubungan koefisien aliran (K_d) dan kedalaman relatif (Y_o/b) dengan ukuran relatif (b/d_{50}) Breuser dan Raudkivi (1999).

3. Ukuran butiran

Ukuran butiran dari transpor sedimen merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan pada kondisi air bersih (*clear water scour*). Kedalaman gerusan (y_s/b) tidak berdimensi merupakan fungsi dari karakteristik ukuran butiran material dasar.

$$(\sigma/d_{50})$$

(2)

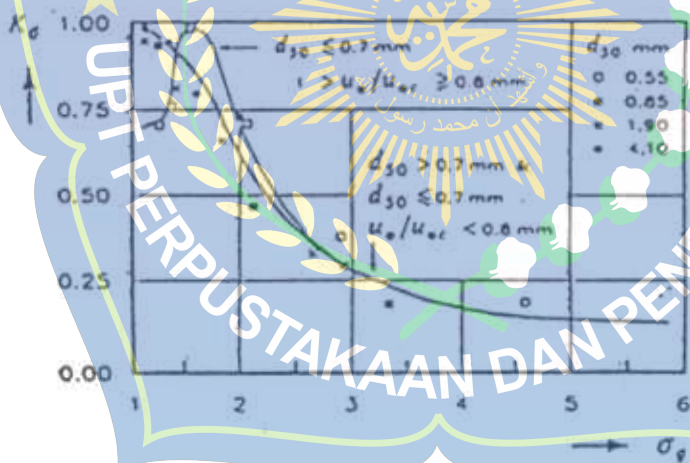
Dimana :

σ = standar deviasi untuk ukuran butiran

d_{50} = ukuran parikel butiran rerata

Nilai kritikal dari (σ/d_{50}) untuk melindunginya hanya dapat di capai dengan bidang dasar, tetapi tidak dengan lubang gerusan dimana kekuatan lokal pada butirannya tinggi yang disebabkan meningkatnya pusaran air.

Dengan demikian nilai simpangan baku geometrik (og) dari distribusi ukuran butiran material dasar akan berpengaruh pada kedalaman air bersih dan dapat di tentukan dari nilai



Gambar 5. Koefisien simpangan baku ($K\sigma$) fungsi standar deviasi geometri ukuran butira (Breuser dan Raudkivi, 1991)

Estimasi kedalaman gerusan dikarenakan adanya pengaruh distribusi material dasar mempunyai nilai maksimum dalam kondisi

setimbang pada aliran air bersih (clear water) menurut Breuser dan Raudkivi (1991) adalah sebagai berikut :

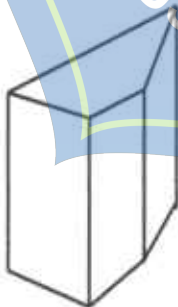
$$Y_{se}(\sigma)/b = K_d \cdot Y_{se}/b \quad (3)$$

4. Bentuk Abutmen

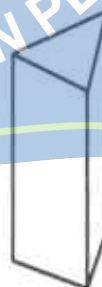
Abutmen jembatan merupakan salah satu bagian konstruksi jembatan yang ditempatkan pada pangkal konstruksi jembatan. Simon dan Senturk (1992) dalam Hanwar (1990) menyatakan bahwa ada dua bentuk umum abutmen yaitu *vertical wall abutment* dengan *wing* atau *box wall* dan *spill – thorough abutment*.

Breusers (1991) dalam Hanwar (1999) menyatakan bahwa kedalaman gerusan untuk *wing-wall* (WW), *spill-thorough* (ST) dan *vertical wall pointing down stream* (TSI) adalah sekitar 70% dibanding *semi-circular-end-abutment* (SCE).

Ada beberapa macam tipe geometri abutmen menurut (Breusers dan Raudkivi 1991) yaitu :



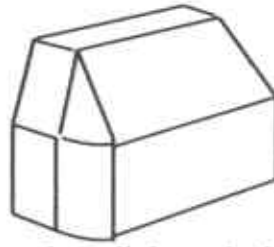
1. Wing wall abutment
abutment



2. Triangulart – shaped
abutment



3. Semi curcular abutment



4. Sill through abutment

Gambar 6. Macam – macam Model abutmen (Breuser dan Raudkivi : 1991)

D. Persamaan Empiris

1. Bilangan froude

Interaksi gaya gravitasi dan gaya inersia aliran pada saluran dinyatakan dengan bilangan froude (fr) yang didefinisikan sebagai berikut :

$$Fr = \left(\frac{U}{\sqrt{gh}} \right) \quad (4)$$

Dimana :

U = nilai kecepatan aliran rata – rata, (m/s)

h = kedalaman aliran, m

g = percepatan gravitasi, (m/s²)

fr = bilangan froude

bilangan froude dapat digunakan untuk menentukan regime aliran yang terjadi pada saluran. Regina aliran dapat dibagi menjadi 3 kategori (rinaldi, 2002) yaitu :

- a) Regime aliran subkritis jika nilai $Fr < 1$. Pada aliran subkritis peranan gaya tarik bumi lebih menonjol, sehingga aliran mempunyai kecepatan rendah dan sering dikatakan tenang
- b) Regime Aliran kritis jika nilai $Fr = 1$. Kedalaman regime ini adalah kedalaman kritis
- c) Regime Aliran superkritis terjadi jika nilai $Fr > 1$. Dalam keadaan ini gaya- gaya inersia sangat menonjol. Sehingga aliran mempunyai kecepatan tinggi dan kedalaman aliran regime ini lebih kecil dari kedalaman kritis, $D < D_{kr}$.

2. Koefisien Kekasaran Dasar

Perilaku aliran terhadap konfigurasi dasar dapat digambarkan sebagai hubungan besaran manning, koefisien cheszy (Cheszy) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$C = \frac{r^{1/6}}{n} \quad (5)$$

$$n = \frac{d^{1/6}}{21} \quad (6)$$

dimana :

n = angka kekasaran manning

d = diameter butir seragam pada dasar saluran, (mm)

r = jari – jari

kecepatan rata-rata menurut Chezy dirumuskan sebagai berikut :

$$U = C \sqrt{rs_f} \quad (7)$$

Dimana :

U = kecepatan aliran rata – rata, (m/s)

S_f = kemiringan dasar energi

S_o = kemiringan dasar saluran

S_w = kemiringan permukaan air

Pengujian dilaboratorium diusahakan pada kondisi aliran seragam sehingga garis energi, maka air dan dasar saluran saling sejajar, berarti kemiringan sama atau $S_f = S_w = S_o$.

E. Awal gerak butiran

Akibat adanya aliran air, timbul gaya-gaya yang bekerja pada material sedimen. Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan atau menyeret butiran material sedimen

Garde dan Raju (1977) dalam sucipto (2004) menyatakan bahwa yang dikatakan sebagai awal gerak butiran adalah salah satu dari kondisi berikut ini :

1. Satu butiran bergerak
2. Beberapa (sedikit) butiran bergerak
3. Butiran bersama-sama bergerak dari dasar, dan
4. Kecenderungan pengangkutan butiran yang ada sampai habis

Tiga faktor yang berkaitan dengan awal gerak butiran sedimen yaitu :

1. Kecepatan aliran dan diameter/ukuran butiran,
2. Gaya angkat yang lebih besar dari gaya berat butiran, dan

3. Gaya geser kritis

Menurut Raudkivi (1991) dalam Gunawan (2006) distribusi ukuran partikel adalah sebagai berikut :

$$\sigma_g = \left(\frac{d_{84}}{d_{50}} \right)^{0,5} \quad (8)$$

Shiedl dalam Gunawan (2006) mengungkapkan suatu diagram untuk awal gerak butiran pada material dasar seragam, Dan dia menamakan parameter mobilitas kritis yaitu parameter *shields* :

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho \cdot g \cdot \Delta \cdot d} = \frac{u_{*c}^2}{g \cdot d \cdot \Delta} \quad (9)$$

Tegangan geser :

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot y_0 \cdot I \quad (10)$$

Kecepatan geser :

$$u_* = \left(\frac{\tau_0}{\rho} \right)^{0,5} \quad (11)$$

Angka reynold :

$$Re = \frac{u h}{\nu} \quad (12)$$

Kecepatan kritik :

$$U_c = u_{*c} \left(5.57 \log \left(\frac{y_0}{2d_{50}} \right) + 6 \right)$$

(13)

Kecepatan geser kritik :

$$u_{*c} = \sqrt{\theta_c \cdot g \cdot \Delta \cdot d} \quad (14)$$

Dimana :

σ_g = standar geometri

d = diameter butiran d_{50} , (m)

g = percepatan grafitasi, (m/s^2)

Δ = relatif densiti

ρ = massa jenis air, (kg/m^3)

u_{*c} = kecepatan geser kritis (m/s)

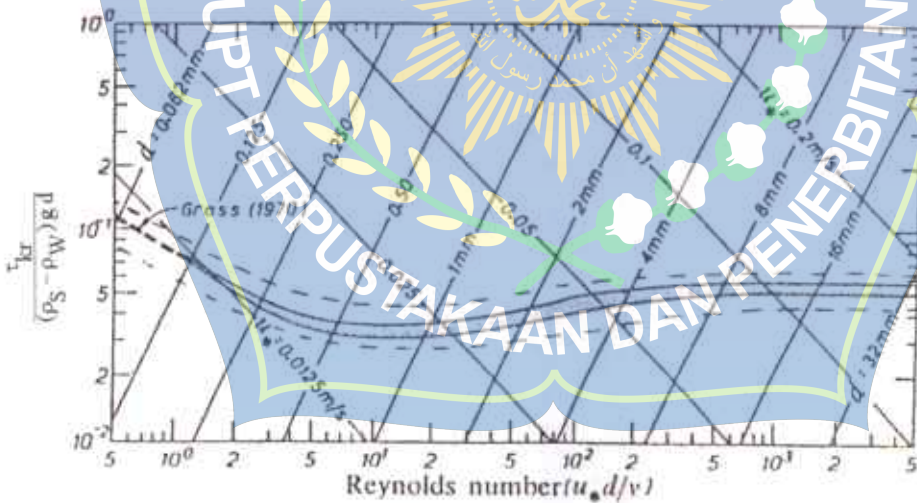
τ_c = nilai kritis, (N/m^2)

θ_c = parameter mobilitas kritis

R = Jari- jari hidrolis, (m)

y_o = kedalaman aliran (m)

I = Kemiringan dasar sungai



Gambar 7. Diagram shields, hubungan tegangan geser kritis dengan bilangan reynolds.

No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1.	Perbandingan Gerusan Lokal yang Terjadi di Sekitar Abutmen Dinding Vertikal Tanpa Sayap dengan Semicircular pada Saluran Lurus (Eksperimen)	Nasution, Ahmad Fauzan Maret 2017	Tujuan Penelitian ini yaitu Mengetahui gerusan lokal di sekitar abutmen akibat pengaruh dari masing masing bentuk abutmen, perbandingan gerusan, dan pola gerusan.	Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen laboratorium	Bentuk abutmen salah satu faktor yang Mempengaruhi besar kecilnya kedalaman gerusan. Perbedaan bentuk abutmen menyebabkan adanya perbedaan gerusan. Pola gerusan yang terjadi pada abutmen relatif sama. Yaitu hampir menyerupai sebuah lingkaran, Hanya saja lebar pola gerusan pada abutmen dinding vertikal tanpa sayap lebih besar dari Pada lebar gerusan pada abutmen semi-circular	Penelitian ini mempunyai persamaan pada gerusan lokal yang terjadi disekitar abutment pada jembatan	Penelitian ini menganalisis Perbandingan Gerusan Lokal yang Terjadi di Sekitar Abutmen Dinding Vertikal Tanpa Sayap dengan Semicircular pada Saluran Lurus (Eksperimen) sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitar abutment didinding sayap 30°

No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
2.	Perbandingan Gerusan Lokal yang Terjadi di Sekitar Abutment Dinding Vertikal Tanpa Sayap dan dengan Sayap pada Saluran Lurus, Tikungan 90° dan 180°	Agung wiyono Joko nugroho Widyaningtias Eko Risma Zaidun 1 april 2011	Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan gerusan yang terjadi disekitar abutment dinding vertikal tanpa sayap dan dengan sayap pada saluran lurus, tikungan 90° dan 180°	Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen laboratorium	Penelitian ini menunjukkan bahwa abutment dinding vertical tanpa sayap dan dengan sayap mempunyai gerusan maksimum yang hampir sama sedangkan sedimentasinya masing-masing berbeda	Penelitian ini mempunyai persamaan pada gerusan lokal yang terjadi disekitaran abutment pada jembatan	Penelitian menyelidiki Perbandingan Gerusan Lokal yang Terjadi di Sekitar Abutment Dinding Vertikal Tanpa Sayap dan dengan Sayap pada Saluran Lurus, Tikungan 90° dan 180° sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitaran abutment didinding sayap 30°



No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
3.	gerusan lokal disekitar abutment jembatan labuan	Nina Bariro Rustiati 3 Agustus 2007	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kedalaman gerusan lokal disekitar abutment jembatan Labuan pada kondisi banjir. Serta untuk menganalisa metode perlindungan gerusan menggunakan ripra	penelitian ini di lakukan pada jembatan Labuan yang terletak kurang lebih 30 Km kearah Utara dari Kota Palu Sulawesi Tengah. Dengan panjang jembatan sekitar 30 m dan bentang 5 m	Hasil pengukuran di lapangan yakni di abutmen Jembatan Labuan menunjukkan sangat kecilnya gerusan lokal yang terjadi. Bahkan selama pengamatan dilakukan (3bulan) hampir tidak ada gerusan lokal. Hal ini disebabkan debit aliran yang melewati abutmen terbagi dalam beberapa ruas gosongan-gosongan pasir dan kerikil. Disamping rendahnya curah hujan yang turun juga mempengaruhi besarnya debit yang mengalir, mengakibatkan material yang terbawa aliran dengan mudah terendapkan dan mengakibatkan kecilnya gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutment	Penelitian ini mempunyai persamaan pada gerusan lokal yang terjadi disekitar abutment pada jembatan	Penelitian ini menganalisis gerusan local disekitar abutment jembatan labuan sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitar abutment didinding sayap 30°

NO	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
4.	pengendalian gerusan di sekitar abutmen jembatan	Lutjito Sudiyono AD 1 mei 2012	Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui gerusan local yang terjadi pada abutment, dan efektivitas graoud shiil dalam pengurangan kedalaman dengan mengurangi degradasi saluran dasar yang terjadi	Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen laboratorium	Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak ground shiil maka akan semakin tidak bagus terhadap abutment dan otomatis hasilnyaapun tidak akan baik	Penelitian ini mempunyai persamaan pada gerusan local yang terjadi disekitaran abutment dengan memasang ground shiil sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitaran abutment didinding sayap 30°	Penelitian ini menyelidiki gerusan local yang terjadi disekitaran abutment dengan memasang ground shiil sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitaran abutment didinding sayap 30°



No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
5.	Model peredam gerusan dengan tirai bentuk persegi sisi depan melengkung (PSDM) Pada Zona Pilar	Nenny, Muh Saleh Pallu, M, Arsyad Thaha, dan Faraouk Maricar November 2013.	Tujuan dari penelitian ini yaitu memberikan solusi berupa model peredam gerusan disekitar zona pilar dan mengevaluasi dari teknologi ini lebih lanjut, menganalisis karakteristik aliran dan gerusan disekitar pilar dengan model peredam gerusan, pengaruh penempatan peredam terhadap kedalaman dan jarak gerusan yang terjadi disekitar pilar	Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen laboratorium	Hasil simulasi menunjukkan bahwa 1. kecepatan aliran dan kedalaman gerusan (ds)di zona pilar cenderung mengalami perubahan setelah melewati model tirai 2. berdasarkan potensi gerusan local, elevasi kedalaman gerusan maksimum pada titik 7 dan 8(sisi kanan pilar) dan tingkat reduksi mencapai 30 % setelah menggunakan variasi tirai	Penelitian ini mempunyai persamaan pada gerusan local yang terjadi disekitaran jembatan	Penelitian ini menganalisis Model peredam gerusan dengan tirai bentuk persegi sisi depan melengkung (PSDM) Pada Zona Pilar sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitaran abutment didinding sayap 30°

No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
6.	Model pengendalian gerusan di sekitar abutmen dengan pemasangan groundsill dan abutmen bersayap	Didik purwanto 1 mei 2015	Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan control menjelajahi disekitaran abutment jembatan gerusan disekitar abutment jembatan harus di control karena menyebabkan penyebab utama kerusakan abutment dan struktur hidrolik yang di bangun di dasar sungai	Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen laboratorium	Pada awal aliran terlihat terjadi gerusan yang cukup besar di sekitar abutmen jembatan. Setelah aliran hampir mencapai keseimbangan maka gerusan di sekitar abutmen akan semakin kecil dan perlahan mendekati kesetabilan; (2) Kedalaman gerusan maksimum dari beberapa model	Penelitian ini mempunyai persamaan pada gerusan local yang terjadi disekitaran abutment pada jembatan	Penelitian ini meneliti pengendalian gerusan di sekitar abutmen dengan pemasangan groundsill dan abutmen bersayap sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitaran abutment didinding sayap 30°

NO	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
7.	Pola gerusan local akibat perlakuan pada abutmen jembatan	Nina shaskia Maimun Rizalihadi 2 november 2019	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku gerusan local akibat perlakuan pada abutment jembatan	Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen laboratorium	Hasil penelitian menunjukkan bahwa perakuan pada abutment berpengaruh pada kedalaman gerusan yang terjadi	Penelitian ini mempunyai persamaan pada gerusan local yang terjadi disekitaran abutment pada jembatan	Penelitian ini menganalisis Pola gerusan local akibat perlakuan pada abutmen jembatan, sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitaran abutment didinding sayap 30°



NO	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
8.	Pengaruh debit terhadap pola gerusan di sekitar abutmen jembatan (uji laboratorium dengan skala model jembatan megawati)	Fuad Halim 1 maret 2014	Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk Mengetahui pola gerusan dan kedalaman gerusan yang terjadi disekitar abutmen jembatan akibat pengaruh debit.	Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen laboratorium	Dari hasil kajian eksperimen di laboratorium menunjukkan bahwa pola gerusan yang terjadi pada Abutment berbagai kedalaman aliran relatif sama meskipun dengan lebar dan kedalaman gerusan yang berbeda.	Penelitian ini mempunyai persamaan pada gerusan local yang terjadi disekitar abutment pada jembatan	Penelitian ini menganalisis Pengaruh debit terhadap pola gerusan di sekitar abutmen jembatan sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitar abutment didinding sayap 30°

No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
9.	Gerusan yang Terjadi di Sekitar Abutment Tanpa Sayap pada Jembatan	Agung wiyono Widyaningtyas 4 desember 2007	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besar gerusan local yang terjadi pada daerah abutment jembatan pada sungai lurus dan dengan tikungan	Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen laboratorium	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari setiap perhitungan memiliki hasil yang berbeda dari setiap metode perhitungan	Penelitian ini mempunyai persamaan pada gerusan local yang terjadi disekitar abutment pada jembatan	Penelitian menyelidiki gerusan local yang terjadi disekitar abutment tanpa sayap pada saluran lurus dan tikungan, Sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitar abutment didinding sayap 30°

No	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
10.	Analisis gerusan local di sekitar semi circular and abutment dengan perlindungan ground sill pada froud number (fr) 0,2	Sucipto 11 Januari 2019	Tujuan penelitian ini yaitu untuk mempelajari proses penggerusan, pengaruh material dasar perlindungan ground sill, froud number dan parameter aliran lainnya terhadap pola gerusan dan kedalaman gerusan pada abutment jembatan	Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen laboratorium	Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak penempatan alat merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya gerusan Semakin jauh penempatan maka semakin kecil gerusan yang terjadi	Penelitian ini mempunyai persamaan pada gerusan yang terjadi disekitaran abutment pada jembatan	Penelitian ini menganalisis gerusan local di sekitar semi circular and abutment dengan perlindungan ground sill pada froud number (fr) 0,2 sedangkan penelitian kami menganalisis gerusan local disekitaran abutment didinding sayap 30°

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar dengan waktu penelitian dilakukan selama 3 bulan.

B. Model Penelitian

Di dalam mekanika fluida telah kita ketahui bersama bahwa ada beberapa model saluran yang sering di gunakan dalam melakukan permodelan untuk penelitian. Pada penelitian ini kami menggunakan model saluran persegi panjang dengan perincian yaitu :

- a. Panjang saluran 6 m
- b. Lebar saluran 30 cm
- c. Tinggi saluran 50 cm



Gambar 8. Perletakan Model Saluran atau Flume

C. Jenis Penelitian dan Sumber Data

Jenis penelitian yang digunakan adalah permodelan fisik dengan skala terdistorsi. Model fisik dipilih untuk dibuat atau dilakukan apabila fenomena fisik dari permasalahan yang ada diprototipe dapat dibuat dengan skala yang lebih kecil dengan kesebangunan yang cukup memadai. Agar pada proses pembuatan model tersebut terdapat kesamaan yang tinggi maka perlu adanya dua tahap pengecekan model.

Adapun model tersebut antara lain yaitu :

a). Tahap pertama yaitu kalibrasi.

Kalibrasi adalah pengaturan model agar supaya data-data yang ada di prototipe sesuai dengan yang ada di model.

b). Tahap kedua yaitu verifikasi.

Tahap verifikasi ini dilakukan setelah tahap pertama telah memenuhi syarat dari tahap pertama. Verifikasi adalah pembuktian bahwa model sudah sesuai dengan yang ada di prototipe tanpa merubah atau mengatur model lagi.

Pada penelitian ini akan digunakan dua sumber data yakni :

- 1) Data primer yakni data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik dilaboratorium.
- 2) Data sekunder yakni data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada baik yang telah dilakukan dilaboratorium maupun dilakukan ditempat lain yang berkaitan dengan penelitian

Pengaruh Penggunaan *abutmen* sudut peralihan 30° pada jembatan sebagai pelindung terhadap gerusan.

D. Bahan dan Alat

Pada penelitian ini menggunakan model pelindung gerusan abutment tanpa sudut peralihan dan sudut peralihan 30°. Bahan dan alat yang digunakan pada uji model fisik ini antara lain:

- 1) Pompa sentrifugal berkapasitas 1050 ltr/menit
- 2) Jaringan pipa PVC 3"
- 3) Stop kran
- 4) Bak penampungan air kapasitas 12 m³
- 5) Pintu Thompson
- 6) Pintu ukur untuk mengatur debit yang dialirkan
- 7) Bak sirkulasi air dengan kapasitas 12 m³
- 8) Pasir sebagai bahan pembentuk dasar sungai
- 9) Alat ukur Thompson untuk mengukur debit aliran
- 10) Point gauge untuk mengukur kedalaman dasar sungai
- 11) *Current meter* untuk mengukur kecepatan aliran
- 12) Penggaris sebagai pengukur kedalaman kedalaman gerusan.

E. Variable Yang Diteliti

Berdasarkan maksud dan tujuan penelitian ini, pengujian model pelindung gerusan pada abutment dilaksanakan pada model saluran terbuka (flume) dengan kajian pada dasar dan disekitar abutmen.

Pelaksanaan penelitian dengan mengacu pada rancangan yang telah disetujui, guna mendapatkan data sebagai bahan kajian.

Model fisik ini dimaksudkan untuk mempelajari dan mengidentifikasi serta mengamati pola gerusan pada dasar saluran disekitar abutmen jembatan dengan variasi tinggi aliran (h), durasi pengaliran (t), dan debit aliran (Q) serta pengamatan karakteristik aliran pada model pelindung gerusan yang diberi variasi *sudut peralihan 30°* .

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari dua variabel, yaitu variabel independen (variabel X) dan variabel dependen (variabel Y). Adapun penjelasan dari kedua variabel tersebut adalah sebagai berikut ini

1) Variabel independen (variabel X)

Variabel ini sering disebut sebagai variabel *stimulus*, *prediktor*, *antecedent*. Dalam bahasa Indonesia sering disebut sebagai variabel bebas. Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen (terikat).

2). Variabel dependen (variabel Y)

Variabel ini sering disebut sebagai variabel *output*, *kriteria*, *konsekuen*. Dalam bahasa Indonesia sering disebut sebagai variabel terikat. variabel terikat merupakan variabel yang di pengaruhi atau menjadi akibat, karena adanya variabel bebas.

Berdasarkan penjelasan di atas, variabel dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

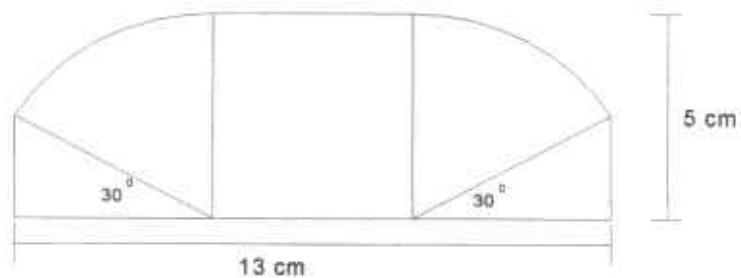
- a) Variabel bebas (X) : Kedalaman aliran (h), kecepatan aliran (v), dan waktu (t).
- b) Variabel terikat (Y) : Gerusan dan endapan.

F. Perancangan Model

Rancangan model peredam energi dibuat dengan skala model terdistorsi, dimana skala horizontal sama dengan skala vertikal. Rancangan model yang akan dibuat yaitu dengan kemiringan 30° . Kemiringan ini dilakukan agar mendapatkan perbandingan dari beberapa variasi. Dimana akan dilakukan pengamatan mana yang lebih maksimal dalam melindungi abutmen agar tidak terjadi gerusan. Adapun bentuk rancangan seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 9. Denah abutment



Gambar 10. Detail tampak atas abutment sudut peralihan 30°



Gambar 11. Detail tampak atas abutment tanpa sudut peralihan



Gambar 12. Perletakan pias untuk titik pengamatan

G. Langkah-Langkah Penelitian

a) Persiapan Bahan

Adapun bahan yang dipersiapkan dalam penelitian ini yaitu :

1. Pembuatan model pelindung gerusan dengan variasi tanpa sudut peralihan dan sudut peralihan 30°
2. Persiapan bahan dasar saluran menggunakan pasir dengan diameter sesuai hasil analisa saringan.
3. Air bersih di bak penampung

b) Persiapan Alat Laboratorium

Adapun alat yang dipersiapkan dalam penelitian ini yaitu :

1. Periksa alat pompa air dan dicoba
2. Bak penampung dan peredam agar aliran seragam.
3. Bak ukur debit Thompson dikalibrasi
4. Pengaturan waktu (*stopwatch*) dan gelas ukur
5. Mistar dan point gauge
6. Current meter

H. Penentuan Perubahan Penampang Saluran

Perubahan dasar saluran disekitar abutmen ditentukan setelah dilaksanakan running dengan beberapa model. Pengamatan dilakukan setelah saluran dikosongkan air. Konfigurasi dasar saluran ditentukan dengan mengukur kedalaman dasar saluran pada daerah pengamatan dengan menggunakan "*point gauge*". Titik-titik pengamatan

berupa propel pengamatan yang hasilnya dapat digambarkan dalam satu bidang kontur ketinggian (*konfigurasi*) dasar saluran.

Material pembentuk dasar saluran adalah material tidak berkoheisi, dalam hal ini digunakan pasir sedang yang berdiameter sesuai hasil analisa saringan. Perlakuan terhadap pembentukan dasar saluran model dilakukan sedemikian rupa untuk memperoleh bentuk saluran dan tingkat kepadatan yang relatif sama untuk setiap simulasi.

I. Pencatatan Data

Pencatatan data dilakukan pada setiap kondisi, yaitu data kondisi awal sebelum *running*, data pada saat *running*, dan data setelah dilakukan *running*.

a) Data Yang Diambil Saat Pengaliran.

1. Kondisi awal saluran, elevasi dan kemiringan saluran tiap seksi yang ditinjau
2. Pantauan debit aliran melalui tinggi air pada alat ukur debit Thompson.

b) Data Yang Diambil Saat Pengaliran

1. Penentuan waktu saat memulai pengaliran
2. Ketinggian aliran ditempat yang ditinjau
3. Pengaturan kecepatan dengan alat *current meter* pada tempat yang ditinjau.



Gambar 13. Pengambilan data saat pengaliran

c) Data Yang Diambil Setelah Pengaliran

1. Untuk pengaliran selama 5, 10, dan 15 menit diambil data elevasi tiap tinjauan potongan melintang
2. Jarak pengambilan data adalah 2,5 cm



Gambar 14. Pengambilan data setelah pengaliran

J. Prosedur Penelitian

Prosedur perolehan data secara garis besar adalah sebagai berikut:

- a) Melakukan kalibrasi terhadap alat percobaan
- b) Memasang *abutment*

- c) Material dasar sungai dituang sepanjang saluran (flume) dan dipadatkan dengan ketebalan 6 cm. Selanjutnya pompa dihidupkan sampai waktu terjadi keseimbangan.



Gambar 15. material pasir yang di gunakan

- d) Elevasi muka air diatur untuk memperoleh kedalaman aliran yang diinginkan yaitu $h_1=3,5$ cm, $h_2=4,0$ cm dan $h_3=4,5$ cm.
- e) Mengalirkan debit dengan lama waktu yang telah ditentukan yaitu $t_1=5$ menit, $t_2=10$ menit dan $t_3=15$ menit.
- f) Pengujian dengan variasi abutment sudut peralihan 30° dan abutment tanpa sudut peralihan.
- g) Mengamati karakteristik aliran disekitar abutmen
- h) Mengamati pola gerusan dan endapan yang terjadi pada dasar saluran di sekitar abutmen dan kemudian dicatat.
- i) Air sisa/kotor dikeluarkan dari flume melalui pipa pembuang
- j) Prosedur 1-9 diulangi sebanyak 27 kali simulasi untuk variasi waktu pengaliran (t), debit pengaliran (Q) dan tinggi pengaliran (h).

K. Program Surfer

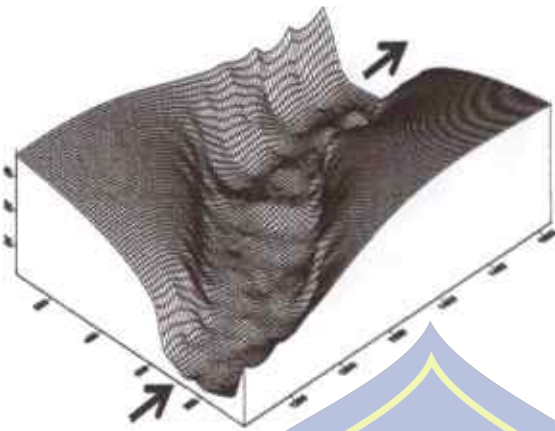
Surfer adalah salah satu dari perangkat lunak yang diciptakan untuk kegunaan pembuatan peta kontur dan pemodelan tiga dimensi yang berdasarkan grid yang ada dan mempermudah serta mempercepat aktivitas konversi data kedalam bentuk peta kontur dan plot permukaan. Salah satu contoh penggunaan aplikasi surfer yaitu pembuatan peta kontur batimetri. Dengan menggunakan software ini maka dapat diperoleh plot permukaan dasar sungai sehingga dapat diketahui besar gerusan dan endapan yang terjadi.

Secara umum langkah penggunaan Surfer :

- 1). Input data base map, post map, dan contour map dari soal ke worksheet di Microsoft excel.
- 2). Pindahkan data dalam format (.xls) ke program server 9.
- 3). Mengolah data menjadi bentuk base map, post map, contour map, dan untuk hasil yang lebih padu dan baik, grafik yang dihasilkan dapat disatukan atau disajikan dalam bentuk 3D.

Berikut secara singkat langkah pemodelan kontur menjadi 3D :

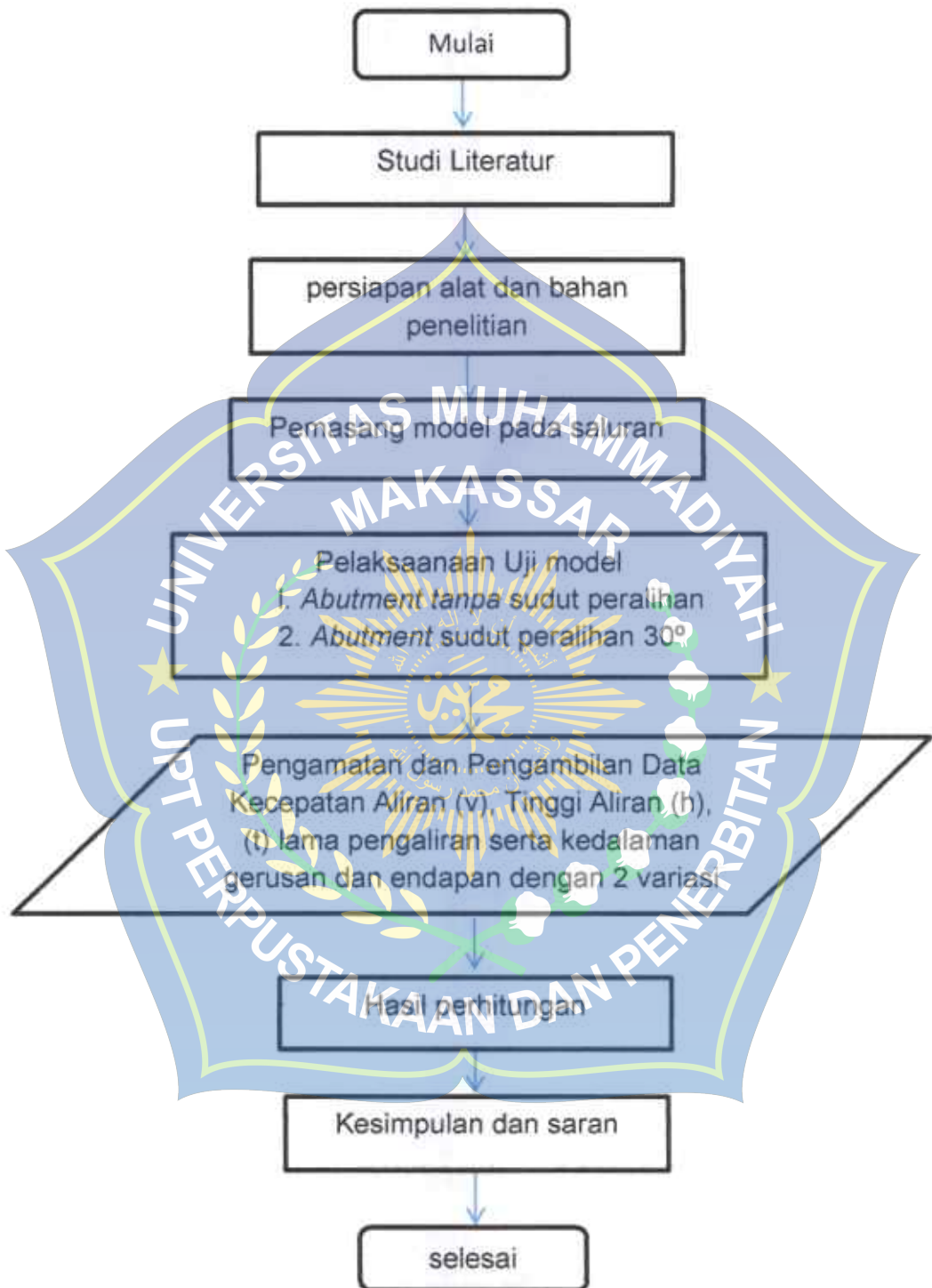
- a) Masukkan data kontur yang telah dibuat.
- b) Kemudian akan keluar peta kontur yang telah dibuat sebelumnya dan silahkan ganti warna sesuka kalian.
- c) Kemudian kita akan membuat dalam bentuk 3D. klik map pada tool, kemudian klik New dan kemudian klik 3D Surface.
- d) Maka akan muncul model 3D dari kontur yang telah dibuat.



Gambar 16. Contoh hasil pengolahan data menggunakan surfer



L. Diagram Alur Penelitian



Gambar 17. Bagan alur penelitian

BAB IV

HASIL PERHITUNGAN

A. Data Hasil Penelitian

1. Umum

Berdasarkan tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh gerusan lokal disekitar abutmen sudut peralihan 30° akibat perubahan parameter aliran. Maka dalam penelitian ini diuraikan informasi terkait dengan data kecepatan aliran, tinggi aliran, lama pengaliran, kedalaman gerusan volume gerusan serta persentase gerusan yang terjadi.

2. Kedalaman Aliran

Kedalaman Aliran diukur pada saat proses pengaliran pada *flume*, untuk pengukuran ini digunakan tiga variasi pengambilan data kedalaman pengaliran dengan waktu yang berbeda-beda sesuai dengan tinggi bukaan pintu yang diberikan. Untuk mendapatkan aliran rata-rata yang terjadi dilakukan pengukuran mulai dari titik kiri penampang, tengah, dan bagian kanan. Dalam memperoleh kedalaman aliran yang terjadi dilakukan pengukuran dimulai dari hulu saluran, depan abutment, di belakang, dan bagian hilir saluran. Dan untuk tabelnya kami lampirkan pada lampiran 2 (dua).

Berdasarkan hasil pengukuran kedalaman aliran pada table yang ada di lampiran 2 (dua) dapat dinyatakan bahwa kedalaman aliran paling tinggi terdapat pada *abutment tanpa sudut peralihan* sebesar 3,24 cm,

sedangkan kedalaman aliran paling rendah terdapat pada *abutment* sudut peralihan 30° sebesar 1,86 cm.

3. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran diukur dengan menggunakan *Flow watch* yang berfungsi untuk memberikan data kecepatan secara otomatis terhadap aliran pada saluran untuk titik pengamatan yang telah ditentukan.

Adapun titik pengamatan untuk kecepatan aliran adalah pada bagian hulu saluran, sebelum, sesudah *abutment* dan hilir saluran. Data hasil pengamatan dapat dilihat pada lampiran 3 (tiga).

Berdasarkan hasil pengukuran kecepatan pada table dilampiran 3 (tiga) dapat dinyatakan bahwa kecepatan aliran paling tinggi terdapat pada titik pengukuran di hilir pada *abutment* tanpa sudut peralihan dengan bukaan 4,5 sebesar 0,90 cm/dtk, sedangkan kecepatan aliran paling rendah terdapat pada *abutment* sudut peralihan 30° dengan bukaan 3,5 sebesar 0,49 cm/dtk.

4. Debit Aliran

Perhitungan debit aliran diperoleh dengan menggunakan dengan persamaan (3) dengan data hasil pengukuran kecepatan dan kedalaman aliran pada kalibrasi debit yang menggunakan variasi bukaan pintu yaitu 3,5 cm, 4,0 cm, 4,5 cm dengan variasi waktu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Debit Aliran

Nomor percobaan	Bukaan	Tinggi aliran(cm)	Luas penampang (cm2)	Kecepatan (U0)	Debit (cm3/dt)
X1	3,5	1,257	0,3771	1,0158333	0,383070737
X2	4,0	2,416667	0,7250001	1,3916670	1,008958714
X3	4,5	2,4	0,72	1,575	1,134

Berdasarkan hasil perhitungan debit aliran, bukaan pintu 3,5 cm mengalirkan debit air sebesar 0,383 m³/detik, dan bukaan pintu 4,0 cm mengalirkan debit sebesar 1,00895874 m³/detik, sedangkan bukaan pintu 4,5 cm mengalirkan debit sebesar 1,134 m³/detik. Hasil pengukuran debit aliran dapat di lihat pada table berikut.



Gambar 18. Grafik hubungan antara kecepatan dan debit aliran

B. Analisa Hasil Penelitian

1. Klasifikasi Aliran

Aliran air pada saluran diklasifikasikan berdasarkan angka Reynold dan angka Froud, dimana nilai $fr < 1$ aliran sub kritis, $fr = 1$ aliran kritis, $fr > 1$ aliran superkritis, dan $Re < 500$ aliran laminar, $Re > 500$ aliran turbulen, $500 < Re < 1000$ aliran transisi. Hasil perhitungan bilangan Reynold dan angka Froud sebagaimana disajikan pada tabel 4.3, 4.4 dan 4.5 berikut.

Dari hasil analisa angka Froud pada tabel dibawah dapat diketahui tipe aliran yang didasarkan pada nilai angka Froud (Fr). Aliran dikatakan sub kritis apabila $Fr < 1$, aliran kritis apabila $Fr = 1$ dan aliran super kritis apabila $Fr > 1$. Sedangkan untuk hasil analisa bilangan Reynold (Re), jenis aliran dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis aliran yaitu aliran laminar apabila $Re < 2000$, aliran transisi apabila $2000 < Re < 4000$ serta jenis aliran turbulen apabila $Re > 4000$.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Bilangan Reynold dan Froude Dengan Abutment Tanpa Sudut Peralihan

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Tinggi aliran (m)	Luas	keliling penampang panjang karahistik	kecepatan (m/dtk)	Kekentalan Kinematik (m ² /dtk)	Froude	ket	Reynold	ket
1	Abutment Tanpa Sudut Peralihan	hulu	0,024	0,717432	1,18171658	0,005	0,00000894	0,010	SUB-KRITIS	6213	Aliran turbulen
2		Sebelum pilar	0,035	0,820833	1,34439671	0,008	0,00000894	0,013	SUB-KRITIS	11730	Aliran turbulen
3		Sesudah pilar	0,017	0,970833	1,60417883	0,007	0,00000894	0,016	SUB-KRITIS	12022	Aliran turbulen
4		Hilir	0,017	0,970833	1,604175594	0,005	0,00000894	0,012	SUB-KRITIS	8875	Aliran turbulen

Tabel 3. Hasil Perhitungan Bilangan Reynold dan Froude dengan Abutment Sudut Peralihan 30°

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Tinggi aliran (m)	Luas	kelling penampang panjang kanal (m ²)	kecepatan (m/dtk)	Kekentalan Kinematik (w)	Froude	ket	Reynold	ket
1		hulu	0,020	0,556668	0,60594	0,91885018	0,0023	0,005	SUB-KRITIS	2364	Aliran transisi
2	Abutment Sudut	Sebelum pilar	0,023	0,675532	0,60609	1,10236594	0,0079	0,017	SUB-KRITIS	9803	Aliran turbulen
3	Peralihan 30°	Sesudah pilar	0,019	0,7141668	0,60573	1,179018375	0,0046	0,011	SUB-KRITIS	6067	Aliran turbulen
4		Hilir	0,013	0,7141668	0,60563	1,182532413	0,0047	0,013	SUB-KRITIS	6217	Aliran turbulen

2. Perubahan Penampang Saluran

Perubahan penampang yang dimaksud dalam hal ini adalah perubahan bentuk saluran dari bentuk saluran sebelum pengaliran, yang mana terjadi akibat adanya gerusan dan sedimentasi. Perubahan penampang untuk berbagai simulasi dijelaskan sebagai berikut.

a) Saluran Dengan Bukaannya 3,5 (Q1)

1. Saluran Abutment Tanpa Sudut Peralihan

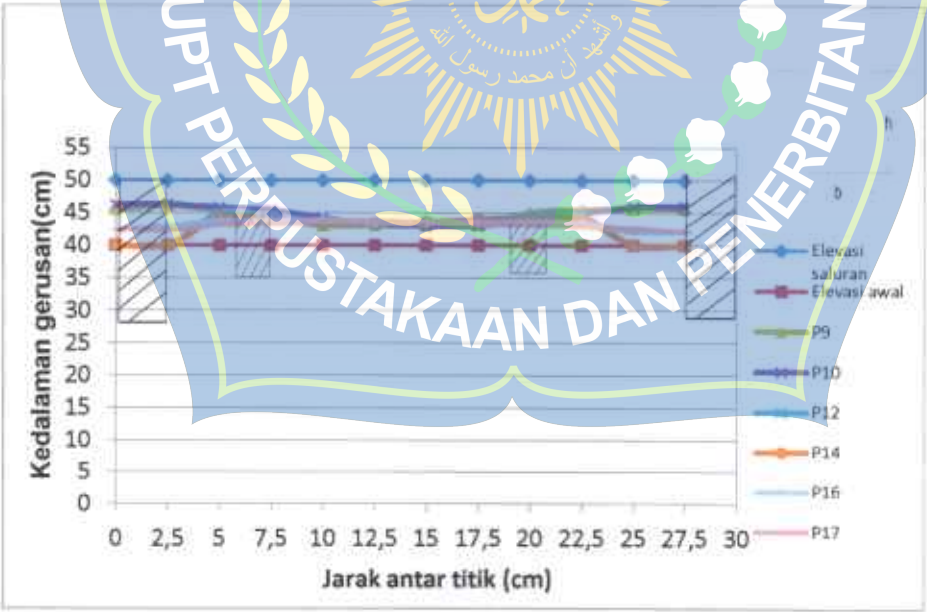
Untuk saluran *abutment tanpa sudut peralihan* dilakukan simulasi sebanyak sembilan kali dengan atau tanpa menggunakan abutment. Hasil pengamatan kondisi perubahan penampang untuk kondisi pengaliran dengan *abutment tanpa sudut peralihan* diuraikan sebagai berikut, sedangkan hasil untuk kondisi simulasi yang lain disajikan pada lampiran 2 (dua) dan 3 (tiga).

Pengaliran dengan ketinggian $(h)=3,5$ cm selama $t=5$ menit mengakibatkan perubahan dasar saluran pada P9 bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1,6 cm bagian tengah terjadi gerusan sedalam 1 cm, dan bagian kiri terjadi gerusan sedalam 1,5 cm. Pada profil P10 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 2 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 0,8 cm dan gerusan sedalam 2,2 cm pada bagian kiri. Pada profil P12 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 0,6 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 5 cm, dan gerusan 6 cm pada bagian kiri, Pada profil P14 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 0,1 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 0,6 cm dan gerusan sedalam 0,2 cm

terjadi pada bagian kiri, Pada profil P16 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1,6 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 0,5 cm dan gerusan sedalam 2,8 cm terjadi pada bagian kiri. Pada profil P17 bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1,9 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 0,3 cm, dan endapan setinggi 1,6 cm terjadi pada bagian kanan.

Tabel 4. perubahan penampang untuk t=5 menit dan Q=0,0009 m³/detik abutment tanpa sudut peralihan

NO	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
1	-1,5	-2,2	0	0	0	0	0	1,6	1,6	1,6	1,6
2	-2	-2,3	0	0	0	0	0	1,1	1,7	1,3	1,6
3	-1,4	-1,8	-1,1	-1	-0,6	-0,2	0	0,3	0,9	0,6	0,8
4	0	-1,4	-1	-0,5	0	0,1	0,4	0,4	0,7	0,5	0,4
5	1	-0,2	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,4	0,4	0,3
6	1	0,8	0,5	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,3	0,4	0,5
7	1	1	0,9	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7
8	0,9	1	0,9	0	0,5	0,1	0,5	0,6	0,8	0,7	0,9
9	-1	0	0,5	-0,5	0,3	0	0,5	0,4	0,9	0,8	1,1
10	-1,5	-1	-0,9	-0,6	-0,2	0	0,3	0,6	1	1,1	1,5
11	-1,6	-1,9	0	0	0	0	0	1,9	1,4	1,3	2
12	-1,6	-2	0	0	0	0	0	1,9	1,9	2	2,1



Gambar 19. Hubungan kedalaman gerusan dengan jarak antar titik pada abutment tanpa sudut peralihan

Dari grafik penampang saluran di atas dapat di nyatakan bahwa gerusan yang paling dalam terjadi di di titik 5 jarak melintang P10, dan gerusan terkecil terjadi di titik 20 jarak melintang P17, sedangkan terjadi endapan pada titik 2,5 jarak melintang P16.

2. Saluran Dengan Abutment sudut peralihan 30°

Perubahan dasar saluran yang terjadi selama 5 menit mengakibatkan perubahan dasar saluran pada profil P9 di bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 4,3 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 0,2 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 0,2 cm. Pada profil P10 bagian kiri mengalami gerusan sedalam 0,8 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 0,5 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1 cm. Pada profil P12 bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 0,2 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 0,2 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 0,7 cm. Pada profil P14 bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 0,6 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 0,4 cm dan bagian kanan saluran terjadi gerusan sedalam 0,5 cm. Pada profil P16 bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 1,3 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 0,2 cm, dan pada bagian kanan saluran terjadi gerusan sedalam 0,5 cm. Pada profil P17 bagian kiri saluran terjadi gerusan sedalam 0,7 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 0,3 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1,7 cm.

Tabel 5. Perubahan penampang saluran t= 5 menit dan Q=0,0009 m³/detik abutment sudut peralihan 30°

NO	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
1	-0,2	-1	0	0	0	0	0	0,5	1,7	1,5	-0,4
2	-0,2	-1	0	0	0	0	0	-0,5	-0,4	-0,5	-0,3
3	-0,3	-1	-0,8	-0,7	-0,1	-0,5	-0,1	-0,5	-0,9	-0,4	-0,4
4	-0,5	-0,8	-0,7	-0,7	-0,2	-0,4	0,1	-0,7	-0,5	-0,3	-0,6
5	-0,2	-0,5	-0,1	-0,5	0	0	0	-0,4	-0,4	-0,2	-0,7
6	0	0	0	-0,2	0	-0,4	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,8
7	0	0	0	0	-0,1	-0,2	-0,5	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4
8	0	0	0	-0,1	-0,2	-0,1	-0,6	-0,1	-0,5	0	-0,3
9	-0,5	0	0	-0,2	-0,3	-0,5	0	-0,5	-0,6	0,1	-0,1
10	-0,2	-0,5	0	0	-0,4	-0,6	0	-0,2	0	1,4	0
11	-0,2	-0,9	0	0	0	0	0	1,1	1,4	1,4	0,1
12	-0,1	-0,8	0	0	0	0	0	1,3	-0,7	1,3	1,5



Gambar 20. Hubungan kedalaman gerusan dengan jarak antar titik pada abutment sudut peralihan 30°

Dari grafik penampang saluran di atas dapat di nyatakan bahwa gerusan yang paling dalam terjadi di di titik 22,5 jarak melintang P16, dan gerusan terkecil terjadi di titik 2,5 sampai 22,5 cm jarak melintang P17. sedangkan terjadi endapan pada titik 0 jarak melintang P17

b) Saluran Dengan Bukaannya 4.0 (Q2)

1. Saluran Abutment Tanpa Sudut Peralihan

Untuk saluran *abutment tanpa sudut peralihan* dilakukan simulasi sebanyak sembilan kali dengan atau tanpa menggunakan abutment. Hasil pengamatan kondisi perubahan penampang untuk kondisi pengaliran dengan *abutment tanpa sudut peralihan* diuraikan sebagai berikut, sedangkan hasil untuk kondisi simulasi yang lain disajikan pada lampiran 2 (dua) dan 3 (tiga).

Pengaliran dengan ketinggian (h)=4,0 cm selama t =10 menit mengakibatkan perubahan dasar saluran pada P9 bagian kanan terjadi terjadi gerusan sedalam 1,2 cm bagian tengah terjadi gerusan sedalam 0,1 cm, dan bagian kiri terjadi gerusan sedalam 1,4 cm. Pada profil P10 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 2,6 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 0,2 cm dan gerusan sedalam 2,2 cm pada bagian kiri. Pada profil P12 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 0,8 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 3 cm, dan gerusan 1,1 cm pada bagian kiri. Pada profil P14 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1,4 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 0,4 cm dan gerusan sedalam 0,8 cm terjadi pada bagian kiri. Pada profil P16 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1,5 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 0,1 cm dan gerusan sedalam 1,5 cm terjadi pada bagian kiri. Pada profil P17 bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1,5 cm, bagian tengah terjadi

gerusan sedalam 0,2 cm, dan endapan setinggi 1,6 cm terjadi pada bagian kanan

Tabel 6. Perubahan penampang untuk t=10 menit dan Q=0,00091 m³/detik abutment tanpa sudut peralihan

NO	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
1	-1,4	-2,2	0	0	0	0	0	1,5	1,6	1,6	1,4
2	-1,5	-2,3	0	0	0	0	0	1	1,1	1,2	0,9
3	-1,5	-2	-1	-1,1	-1	-0,8	-0,5	0	0,4	0,5	0,4
4	-0,9	-1,3	-0,8	-0,8	-1	-0,4	-0,2	-0,1	-0,1	0	0,2
5	0	0	0	0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	0	0	-0,1
6	0,1	0,2	0,4	0,3	0,3	0,4	0	0,1	-0,2	-0,1	-0,2
7	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,1	0	-0,2	-0,1	-0,1
8	0,1	0	-0,3	0	0,1	-0,1	0	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4
9	-0,4	-0,5	-1,2	-0,8	-0,8	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0
10	-0,6	-1,9	-1,5	-0,5	-1,5	-1,4	-1,1	-0,6	-0,3	-0,2	-0,3
11	-0,9	-2,5	0	0	0	0	0	0,2	-0,1	0,2	1
12	-1,2	-2,6	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,6	2



Gambar 21 . Hubungan kedalaman gerusan dengan jarak antar titik pada abutment tanpa sudut peralihan.

Dari grafik penampang saluran di atas dapat di nyatakan bahwa gerusan yang paling dalam terjadi di di titik 7,5 jarak melintang P12, dan

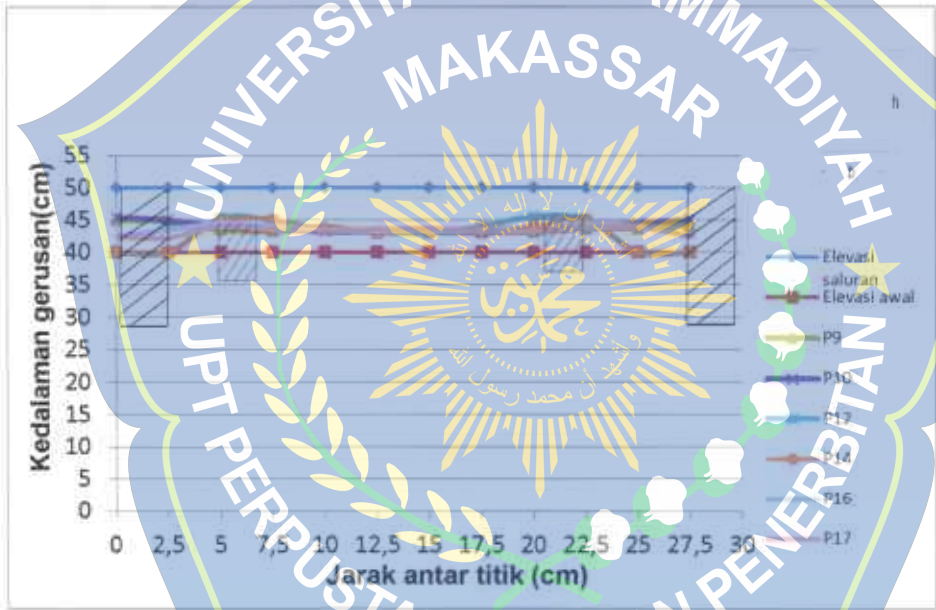
gerusan terkecil terjadi di titik 25 jarak melintang P17. Dan tidak mengalami endapan.

2. Saluran Dengan Abutment Sudut Peralihan 30°

Perubahan dasar saluran yang terjadi selama 10 menit mengakibatkan perubahan dasar saluran pada profil P9 di bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 0,2 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 1 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1 cm. Pada profil P10 bagian kiri mengalami gerusan sedalam 1 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 1 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1,4 cm. Pada profil P12 bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 1,1 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 1 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1,3 cm. Pada profil P14 bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 1 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 1 cm dan bagian kanan saluran terjadi gerusan sedalam 1 cm. Pada profil P16 bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 1,5 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 0,7 cm, dan pada bagian kanan saluran terjadi gerusan sedalam 1,5 cm. Pada profil P17 bagian kiri saluran terjadi gerusan sedalam 1,5 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 0,7 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 1,5 cm.

Tabel 7. Perubahan penampang saluran t=10 menit dan Q=0,00091 m³/detik abutment sudut peralihan 30°

NO	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
1	-1	-1,4	0	0	0	0	0	1,5	1,5	-1,8	1,6
2	-0,7	-1	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1	1,4
3	0,5	0	-2	-1,3	-1,2	-1	-0,5	-0,5	-0,5	0,3	0,5
4	0,8	0,5	-1	-1	-1	-1	0,6	0	0	0,5	0
5	0	0,8	0	0,5	0,5	0,5	-0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
6	1	0,9	1	1	1	1	1	0,7	0,7	0,6	0,5
7	1	0,9	1	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5
8	1	0,9	1	0	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,5
9	0,9	0,6	-0,2	-1,5	-0,4	0	-0,5	0,7	0,7	0,7	0,6
10	0,4	0	-1	-1,1	-1	-1	-1,3	-0,5	-0,5	0,5	0,6
11	0,3	-0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,3
12	-0,2	-1	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,9	1



Gambar 22. Hubungan kedalaman gerusan dengan jarak antar titik pada abutment sudut peralihan 30°

Dari grafik penampang saluran di atas dapat di nyatakan bahwa gerusan yang paling dalam terjadi di di titik 2,5 sampai 7,5 cm jarak melintang P14, dan gerusan terkecil terjadi di titik 22,5 sampai 25 cm jarak melintang P10. Dan tidak mengalami endapan.

c) Saluran Dengan Bukaannya 4.5 (Q3)

1. Saluran Abutment Tanpa Sudut Peralihan

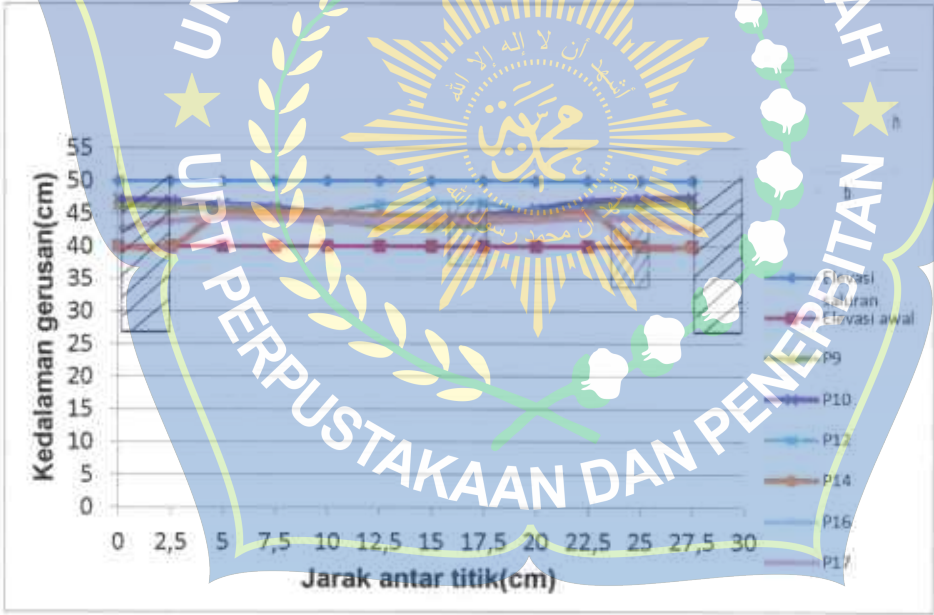
Untuk saluran *abutment tanpa sudut peralihan* dilakukan simulasi sebanyak sembilan kali dengan atau tanpa menggunakan abutment. Hasil pengamatan kondisi perubahan penampang untuk kondisi pengaliran dengan *abutment tanpa sudut peralihan* diuraikan sebagai berikut, sedangkan hasil untuk kondisi simulasi yang lain disajikan pada lampiran 2 (dua) dan 3 (tiga)..

Pengaliran dengan ketinggian (h)=4,5 cm selama t =15 menit mengakibatkan perubahan dasar saluran pada P9 bagian kanan terjadi terjadi gerusan sedalam 6,6 cm bagian tengah terjadi gerusan sedalam 3,2 cm, dan bagian kiri terjadi gerusan sedalam 6,4 cm, Pada profil P10 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 7,5 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 3,9 cm dan gerusan sedalam 7,2 cm pada bagian kiri. Pada profil P12 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 5,8 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 6,6 cm, dan gerusan 6 cm pada bagian kiri, Pada profil P14 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 5,2 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 4,4 cm dan gerusan sedalam 5,2 cm terjadi pada bagian kiri, Pada profil P16 di bagian kanan terjadi gerusan sedalam 2,5 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 4 cm dan gerusan sedalam 2,8 cm terjadi pada bagian kiri. Pada profil P17 bagian kanan terjadi gerusan sedalam 2,5 cm, bagian tengah terjadi

gerusan sedalam 4 cm, dan endapan setinggi 2,5 cm terjadi pada bagian kanan

Tabel 8. perubahan penampang untuk t=15 menit dan Q=0,0011 m³/detik
abutment tanpa sudut peralihan

NO	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
1	-6,4	-7,2	0	0	0	0	0	-2,8	-2,5	-2,2	-2,5
2	-6	-7	0	0	0	0	0	-3,7	-3,9	-2,3	-2,7
3	-5,6	-6,5	-5,8	-6	-5,5	-5,2	-5,2	-4,5	-4,3	-3,5	-3,5
4	-5	-6	-5,8	-5,5	-5,2	-5,2	-5,1	-4,3	-4,2	-3,8	-3,5
5	-4	-5	-5	-5	-5,1	-5	-5	-4,3	-3,8	-3,8	-3,5
6	-3,2	-4,1	-4,6	-6,4	-4,5	-4,7	-4,8	-4	-3,6	-3,6	-3,6
7	-3,2	-3,9	-4,6	-6,6	-4,4	-4,4	-4,7	-4	-4	-3,9	-4
8	-3,4	-4,8	-5	-6,6	-5,6	-4,5	-4,4	-4	-3,8	-4	-4
9	-5,5	-5,8	-5,8	-5,4	-5,2	-4,6	-4,4	-4	-4	-4	-3,8
10	-6	-6,9	-6	-5,8	-5,5	-5,2	-4,9	-4,4	-4,3	-4	-3,6
11	-6,5	-7,3	0	0	0	0	0	-4,7	-4	-3,2	-2
12	-6,6	-7,5	0	0	0	0	0	-2,5	-2,5	-2,2	-2,5



Gambar 23. Hubungan kedalaman gerusan dengan jarak antar titik pada abutment tanpa sudut peralihan.

Dari grafik penampang saluran di atas dapat di nyatakan bahwa gerusan yang paling dalam terjadi di di titik 17,5 jarak melintang P12, dan

gerusan terkecil terjadi di titik 25 jarak melintang P17, sedangkan terjadi endapan pada titik 2,5 sampai 27,5 jarak melintang P14.

2. Saluran Dengan Abutment Sudut Peralihan 30°

Perubahan dasar saluran yang terjadi selama 15 menit mengakibatkan perubahan dasar saluran pada profil P9 di bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 4,8 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 3 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 4,9 cm. Pada profil P10 bagian kiri mengalami gerusan sedalam 5,2 cm, bagian tengah terjadi gerusan sedalam 3 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 5,5 cm. Pada profil P12 bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 5 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 2,7 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 5 cm. Pada profil P14 bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 4,5 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 2,8 cm dan bagian kanan saluran terjadi gerusan sedalam 4,5 cm. Pada profil P16 bagian kiri saluran mengalami gerusan sedalam 2,5 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 3,2 cm, dan pada bagian kanan saluran terjadi gerusan sedalam 2,4 cm. Pada profil P17 bagian kiri saluran terjadi gerusan sedalam 2,3 cm, bagian tengah mengalami gerusan sedalam 3,3 cm, dan bagian kanan terjadi gerusan sedalam 2,2 cm.

Tabel 9. Perubahan penampang saluran t=15 menit dan Q=0,0011 m³/detik abutment sudut peralihan 30°

NO	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
1	-4,8	-5,2	0	0	0	0	0	-2,5	-2,3	-2,4	-2,5
2	-4,6	-5,2	0	0	0	0	0	-2,4	-3,6	-3,4	-3,2
3	-4	-5	-5,4	-5	-5	-4,5	-4,5	-4	-4	-3,7	-3
4	-4,2	-4,2	-4,5	-4,2	-5,9	-3,5	-4,2	-4,2	-3,4	-3	-3
5	-3	-3	-4	-2,5	-3,1	-3	-3,5	-3,5	-3,2	-3,1	-3,2
6	-3	-3	-3	-2,7	-3	-3,6	-3	-3,1	-3,2	-3,3	-3,4
7	-3	-3	-3	-2,7	-3	-2,8	-3,2	-3,2	-3,3	-3,5	-3,4
8	-2,9	-3	-3,5	-3,5	-3,5	-3	-3,4	-3,2	-3,5	-3,3	-3,4
9	-3,1	-3,5	-5	-4	-4,5	-3,4	-3,5	-3,4	-4	-3,5	-3,2
10	-4,1	-4,6	-5,5	-5	-4,4	-4,5	-4,5	-4	-4,3	-4	-3,5
11	-4,9	-5,1	0	0	0	0	0	-5,4	-3	-3,5	-3,3
12	-4,9	-5,5	0	0	0	0	0	-2,4	-2,2	-2,1	-2,1



Gambar 24. Hubungan kedalaman gerusan dengan jarak antar titik pada abutment sudut peralihan 30°

Dari grafik penampang saluran di atas dapat di nyatakan bahwa gerusan yang paling dalam terjadi di di titik 5 sampai 7,5 cm jarak melintang P12, dan gerusan terkecil terjadi di titik 25 cm jarak melintang P14, sedangkan terjadi endapan pada titik 2,5 sampai 27,5 jarak melintang P17.

3. Perubahan Pola Gerusan

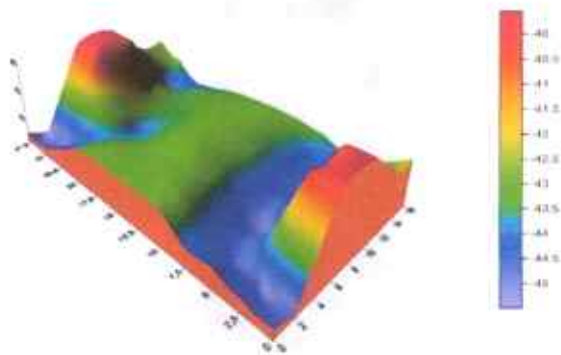
a) Perubahan Pola Gerusan Dengan Bukaan 3,5

1. Gerusan Pada Abutment Tanpa Sudut Peralihan

Pengukuran gerusan pada model saluran dengan menggunakan mistar menghasilkan titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap koordinat arah X dan Y diatas permukaan material. Hasil pengukuran kedalaman gerusan ditampilkan sebagai kontur gerusan pada gambar 25 sedangkan prespektif kontur gerusan ditampilkan pada gambar 26.



Gambar 25. kontur hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0009 \text{ m}^3/\text{detik}$



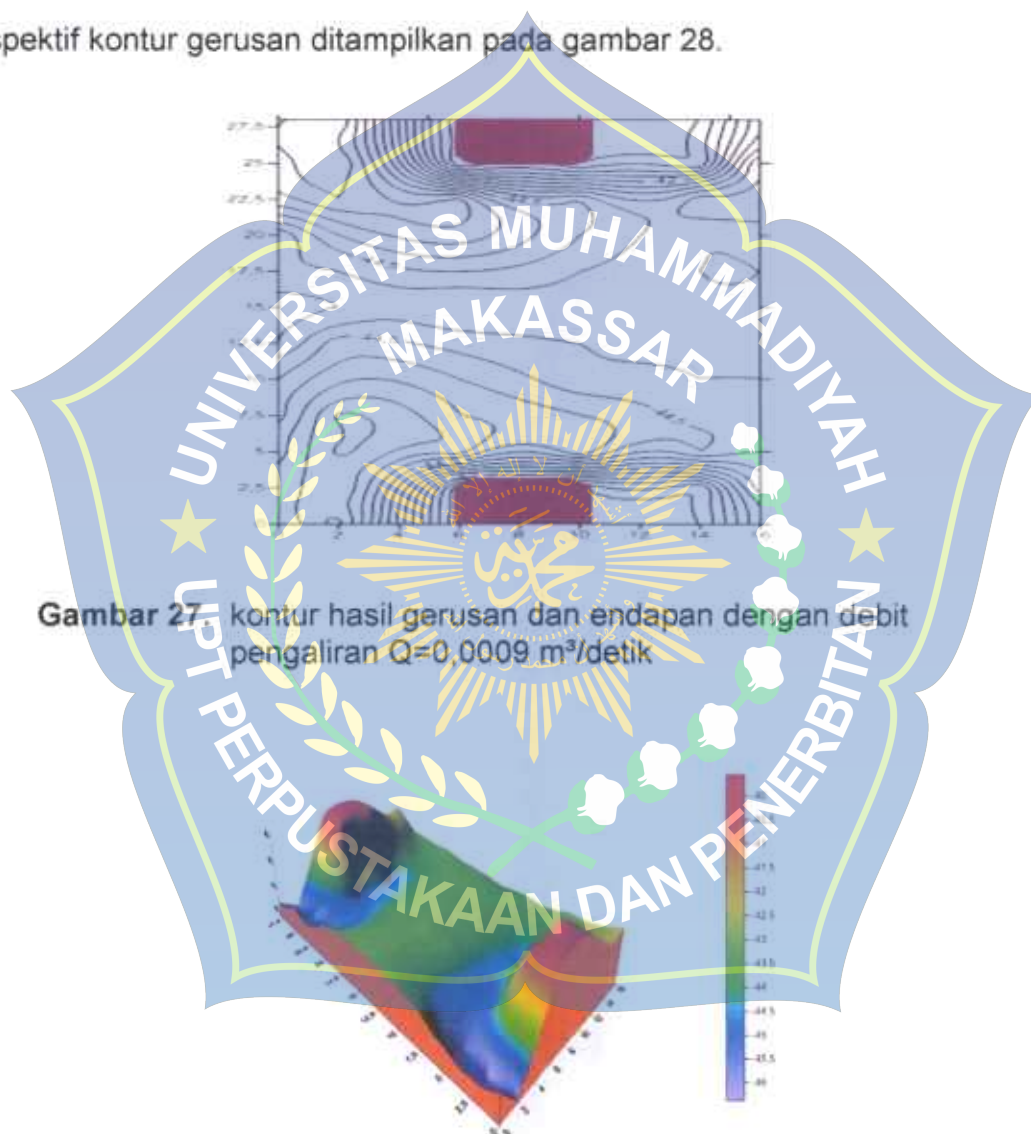
Gambar 26. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0009 \text{ m}^3/\text{detik}$

Dari gambar kontur 25 di atas dapat kita lihat gerusan yang terjadi pada abutment sangat signifikan, hal itu bisa dilihat dari bentuk kontur yang cenderung rapat pada jarak melintang 5 cm di P9 samping abutment, hal serupa terjadi di tengah abutment gerusan yang terjadi mencapai kedalaman 44 cm dari elevasi kedalaman saluran di P13-P15 pada jarak melintang 12,5-17,5 cm, hal ini dikarenakan aliran air disekitar abutment berubah, dari gradient kecepatan vertikal (*vertical velocity gradient*) berubah menjadi gradient tekanan (*pressure gradient*) pada ujung permukaan abutment. Sehingga gradient tekanan membentuk pusaran dan menyapu sekeliling bagian bawah abutment.

Dari gambar kontur 26 dan perspektif kontur gerusan dapat dinyatakan bahwa di titik 2,5-10 cm pada jarak memanjang P9-P12 terjadi gerusan yang mempunyai kedalaman rata-rata 44 cm, sedangkan pada jarak memanjang P17-P19 di titik 22,5-27,5 di kiri dan kanan abutment terjadi gerusan rata-rata 43 cm.

2. Gerusan Pada Abutment Sudut Peralihan 30°

Pengukuran gerusan pada model saluran dengan menggunakan mistar menghasilkan titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap koordinat arah X dan Y diatas permukaan material. Hasil pengukuran kedalaman gerusan ditampilkan sebagai kontur gerusan pada gambar 27 sedangkan prespektif kontur gerusan ditampilkan pada gambar 28.



Gambar 28. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0009 \text{ m}^3/\text{detik}$

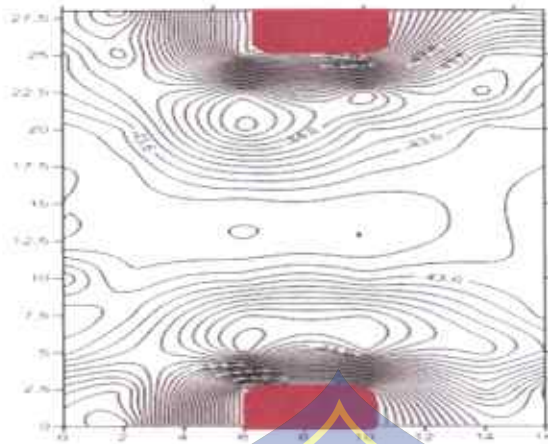
Pada gambar kontur 27 di atas dapat dilihat bentuk kontur yang cenderung rapat pada jarak melintang titik 10 cm di P12 depan dan samping kiri abutment, sedangkan di sisi kanan dan depan abutment pada pias P16 juga terjadi gerusan dengan kedalaman yang cukup signifikan dengan kedalaman rata-rata 44,5 cm, hal ini disebabkan oleh adanya abutment yang memecah aliran sehingga gerusan banyak terjadi di sisi kiri dan depan abutment.

Dari gambar kontur 28 dan perspektif kontur di atas dapat dinyatakan bahwa di titik 2,5-10 cm pada pias 9-12 terjadi gerusan sampai 4,5 cm, sedangkan pada jarak memanjang P16 di titik 20 samping kanan dan depan abutment terjadi gerusan rata-rata 40 cm.

b) Perubahan Pola Gerusan Dengan Bukaan 4,0

1. Gerusan Pada Abutment Tanpa Sudut Peralihan

Pengukuran gerusan pada model saluran dengan menggunakan mistar menghasilkan titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap koordinat arah X dan Y diatas permukaan material. Hasil pengukuran kedalaman gerusan ditampilkan sebagai kontur gerusan pada gambar 29 sedangkan prespektif kontur gerusan ditampilkan pada gambar 30.



Gambar 29. kontur hasil gerusan dan dengan debit pengaliran dan $Q3=0,00091 \text{ m}^3/\text{detik}$



Gambar 30. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran dan $Q3=0,00091 \text{ m}^3/\text{detik}$

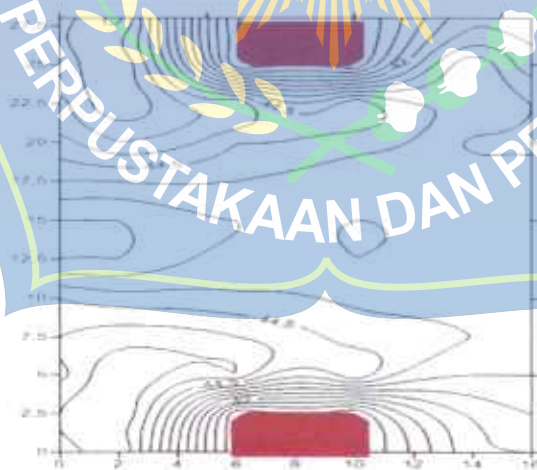
Dari gambar kontur 29 di atas dapat kita lihat gerusan yang terjadi pada abutment sangat signifikan, hal itu bisa di lihat dari bentuk kontur yang cenderung rapat pada jarak melintang 2,5 - 5 cm di P9 - P10 depan abutment, hal serupa terjadi di tengah abutment gerusan yang terjadi mencapai kedalaman 45,6 cm dari elevasi kedalaman saluran di P17-P18 pada jarak melintang 12,5 - 25 cm, hal ini di karenakan aliran air disekitar abutment berubah, dari gradient kecepatan vertikal (*vertical velocity*

gradient) berubah menjadi *gradient tekanan (pressure gradient)* di sekitar abutment. Sehingga *gradient tekanan* membentuk pusaran dan menyapu di sekitaran bagian abutment.

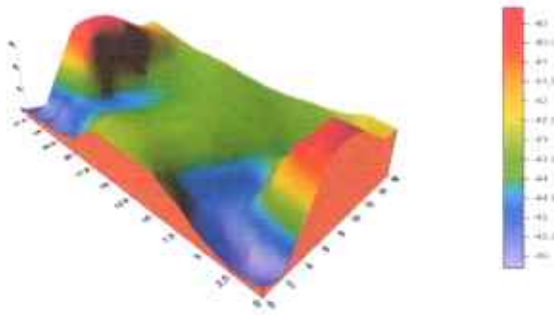
Dari gambar kontur 30 dan perspektif kontur gerusan dapat dinyatakan bahwa di titik 2,5-5 cm pada jarak memanjang P9-P10 terjadi gerusan yang mempunyai kedalaman rata-rata 44,6 cm, sedangkan pada jarak memanjang P13-P18 di titik 12,5-25 di tengah abutment terjadi gerusan rata-rata 45,6 cm.

2. Gerusan Pada Abutment Sudut Peralihan 30° (T=10)

Pengukuran gerusan pada model saluran dengan menggunakan mistar menghasilkan titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap koordinat arah X dan Y diatas permukaan material. Hasil pengukuran kedalaman gerusan ditampilkan sebagai kontur gerusan pada gambar 31 sedangkan prespektif kontur gerusan ditampilkan pada gambar 32.



Gambar 31. kontur hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,00091 \text{ m}^3/\text{detik}$



Gambar 32. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,00091 \text{ m}^3/\text{detik}$

Pada gambar kontur 31 di atas dapat dilihat bentuk kontur yang cenderung rapat pada jarak melintang titik 10 cm di P12 depan abutment, sedangkan di sisi kanan abutment diantara P15-P16 juga terjadi gerusan dengan kedalaman yang cukup signifikan dengan kedalaman rata-rata 44,5 cm, hal ini disebabkan oleh adanya abutment yang memecah aliran sehingga gerusan banyak terjadi di sisi kanan abutment.

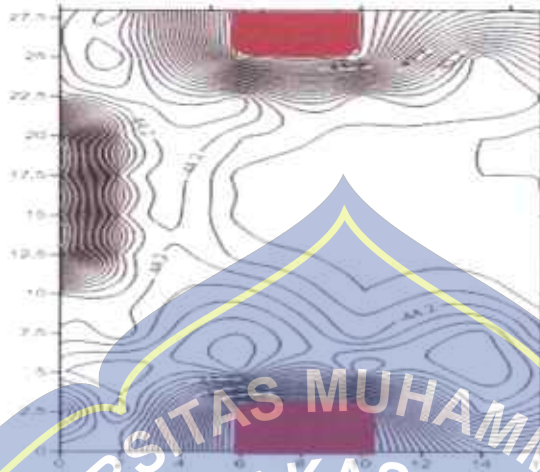
Dari gambar kontur 32 dan perspektif kontur di atas dapat di nyatakan bahwa di titik 10 cm pada pias p12 terjadi gerusan sampai 44,5 cm, sedangkan pada jarak memanjang P15-P16 di titik 17,5-20 samping kanan abutment terjadi gerusan rata-rata 44,5 cm, dan di samping kiri pada P18-P19 dititik 25 – 27,5 cm terjadi gerusan rata-rata 42 cm.

c) Perubahan Pola Gerusan Dengan Bukaan 4,5

1. Gerusan Pada Abutment Tanpa Sudut Peralihan

Pengukuran gerusan pada model saluran dengan menggunakan mistar menghasilkan titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap koordinat arah X dan Y diatas permukaan material. Hasil pengukuran kedalaman gerusan

ditampilkan sebagai kontur gerusan pada gambar 33 sedangkan prespektif kontur gerusan ditampilkan pada gambar 34.



Gambar 33. kontur hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0011 \text{ m}^3/\text{detik}$



Gambar 34. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0,0011 \text{ m}^3/\text{detik}$

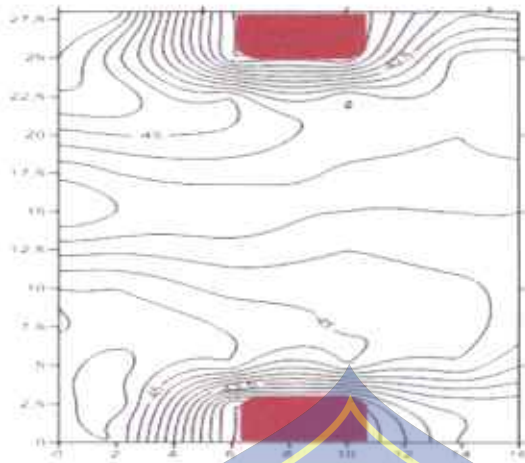
Dari gambar kontur 33 di atas dapat kita lihat gerusan yang terjadi pada abutment sangat signifikan, hal itu bisa di lihat dari bentuk kontur yang cenderung rapat pada jarak melintang 5 – 7,5 cm di P10 - P11 depan abutment, hal serupa terjadi di tengah abutment gerusan yang

terjadi mencapai kedalaman 44,2 cm dari elevasi kedalaman saluran di P17-P18 pada jarak melintang 22,5-25 cm, hal ini di karenakan aliran air disekitar abutment berubah, dari gradient kecepatan vertikal (*vertical velocity gradient*) berubah menjadi gradient tekanan (*pressure gradient*) pada permukaan abutment. Sehingga gradient tekanan membentuk pusaran dan menyapu sekitar bagian bawah abutment.

Dari gambar kontur 34 dan perspektif kontur gerusan dapat dinyatakan bahwa di titik 5-7,5 cm pada jarak memanjang P10-P11 terjadi gerusan yang mempunyai kedalaman rata-rata 44,2 cm, sedangkan pada jarak memanjang P17-P18 di titik 22,5-25 di tengah abutment terjadi gerusan rata-rata 48,2 cm.

2. Gerusan Pada Abutment Sudut Peralihan 30°

Pengukuran gerusan pada model saluran dengan menggunakan mistar menghasilkan titik kedalaman gerusan (arah Z) tiap koordinat arah X dan Y diatas permukaan material. Hasil pengukuran kedalaman gerusan ditampilkan sebagai kontur gerusan pada gambar 35 sedangkan prespektif kontur gerusan ditampilkan pada gambar 36.



Gambar 35. kontur hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0.0011 \text{ m}^3/\text{detik}$



Gambar 36. Perspektif hasil gerusan dan endapan dengan debit pengaliran $Q=0.0011 \text{ m}^3/\text{detik}$

Pada gambar Kontur 35 di atas dapat dilihat bentuk kontur yang cenderung rapat pada jarak melintang titik 120 cm di P10 samping kiri dan depan abutment, sedangkan di sisi kanan dan depan abutment di P16 juga terjadi gerusan dengan kedalaman yang cukup signifikan dengan kedalaman rata-rata 42,5 cm, hal ini disebabkan oleh adanya abutment yang memecah aliran sehingga gerusan banyak terjadi di sisi kiri dan kanan abutment.

Dari gambar kontur 36 dan perspektif kontur di atas dapat dinyatakan bahwa di titik 120 cm pada pias 10 terjadi gerusan sampai 42,5 cm, sedangkan pada jarak memanjang P16 di titik 20 samping kanan abutment terjadi gerusan rata-rata 42 cm.

4. Volume Gerusan

Volume gerusan dihitung berdasarkan perubahan luas penampang saluran dari bentuk sebelum dilakukan pengaliran sepanjang area pengamatan. Pada penelitian ini difokuskan pada gerusan dasar dengan ketebalan material dasar saluran 6 cm.

Untuk memperoleh volume gerusan atau endapan pada titik pengamatan dilakukan dengan cara menghitung luas penampang melintang dari jarak pusat kemudian dikalikan dengan jarak antar penampang melintang. Dapat dilihat pada tabel 10 dan 11, berikut analisis penampang melintang untuk variasi abutment sudut peralihan 30°.

a. Pengaruh jarak melintang terhadap gerusan

1. Struktur dengan Abutment Tanpa Sudut Peralihan ($t=5$ menit)

Pengaliran dengan debit $Q=0,0009 \text{ m}^3/\text{dtk}$ selama 5 menit dengan jarak melintang $x_1=9 \text{ cm}$ terjadi gerusan $26,030 \text{ cm}^2$, $x_2=10 \text{ cm}$ terjadi gerusan $31,42 \text{ cm}^2$, $x_3=12$ terjadi gerusan $4,52 \text{ cm}^2$, $x_4=14 \text{ cm}$ terjadi gerusan 0 cm^2 , $x_5=16 \text{ cm}$ terjadi gerusan 0 cm^2 , $x_6=17 \text{ cm}$ terjadi gerusan 0 cm^2 . Pengaruh jarak melintang dengan luas gerusan menggunakan abutment tanpa sudut peralihan dapat dilihat pada gambar 37.

2. Struktur dengan menggunakan Abutment Sudut Peralihan 30° ($t=5$ menit)

Pengaliran dengan debit $Q=0,0009 \text{ m}^3/\text{dtk}$ selama 5 menit dengan jarak melintang $x_1=9 \text{ cm}$ terjadi gerusan $6,000 \text{ cm}^2$, $x_2=10 \text{ cm}$ terjadi gerusan $16,12 \text{ cm}^2$, $x_3=12$ terjadi gerusan $5,26 \text{ cm}^2$, $x_4=14 \text{ cm}$ terjadi gerusan $5,54 \text{ cm}^2$, $x_5=16 \text{ cm}$ terjadi gerusan $7,98 \text{ cm}^2$, $x_6=17 \text{ cm}$ terjadi gerusan $10,18 \text{ cm}^2$. Pengaruh jarak melintang dengan luas gerusan menggunakan abutment sudut peralihan 30° dapat di lihat pada gambar 38.

3. Struktur dengan Abutment Tanpa Sudut Peralihan ($t=10$ menit)

Pengaliran dengan debit $Q=0,00091 \text{ m}^3/\text{dtk}$ selama 15 menit dengan jarak melintang $x_1=9 \text{ cm}$ terjadi gerusan $20,27 \text{ cm}^2$, $x_2=10 \text{ cm}$ terjadi gerusan $67,62 \text{ cm}^2$, $x_3=12$ terjadi gerusan $6,16 \text{ cm}^2$, $x_4=14 \text{ cm}$ terjadi gerusan $6,11 \text{ cm}^2$, $x_5=16 \text{ cm}$ terjadi gerusan $3,98 \text{ cm}^2$, $x_6=17 \text{ cm}$ terjadi gerusan $3,29 \text{ cm}^2$. Pengaruh jarak melintang dengan luas gerusan menggunakan abutment tanpa sudut peralihan dapat di lihat pada gambar 39.

4. Struktur dengan menggunakan Abutment Sudut Peralihan 30° ($t=10$ menit)

Pengaliran dengan debit $Q=0,00091 \text{ m}^3/\text{dtk}$ selama 15 menit dengan jarak melintang $x_1=9 \text{ cm}$ terjadi gerusan $2,83 \text{ cm}^2$, $x_2=10 \text{ cm}$ terjadi gerusan $8,62 \text{ cm}^2$, $x_3=12$ terjadi gerusan $9,53 \text{ cm}^2$, $x_4=14 \text{ cm}$ terjadi gerusan $5,08 \text{ cm}^2$, $x_5=16 \text{ cm}$ terjadi gerusan $1,82 \text{ cm}^2$, $x_6=17 \text{ cm}$ terjadi

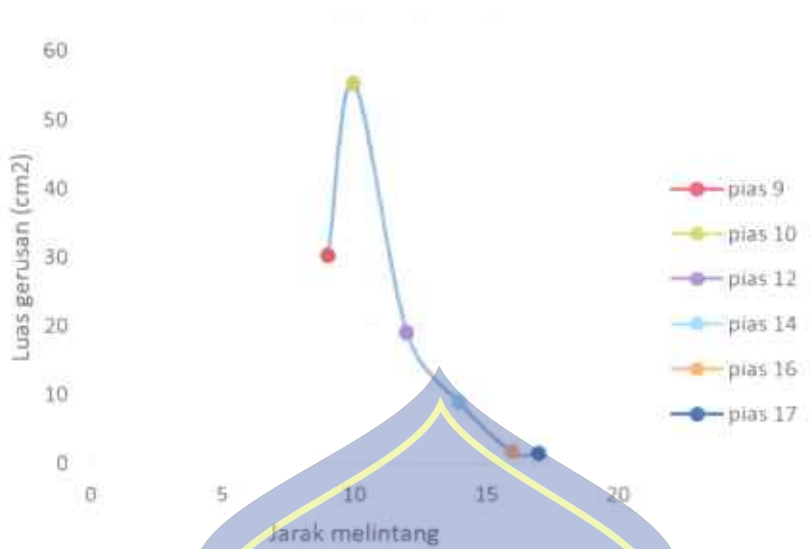
gerusan 0 cm^2 . Pengaruh jarak melintang dengan luas gerusan menggunakan abutment sudut peralihan 30° dapat di lihat pada gambar 40.

5. Struktur dengan Abutment Tanpa Sudut Peralihan ($t=15$ menit)

Pengaliran dengan debit $Q=0,0011 \text{ m}^3/\text{dtk}$ selama 15 menit dengan jarak melintang $x_1=9 \text{ cm}$ terjadi gerusan $38,9 \text{ cm}^2$, $x_2=10 \text{ cm}$ terjadi gerusan $60,2 \text{ cm}^2$, $x_3=12$ terjadi gerusan $35,03 \text{ cm}^2$, $x_4=14 \text{ cm}$ terjadi gerusan $14,69 \text{ cm}^2$, $x_5=16 \text{ cm}$ terjadi gerusan $4,94 \text{ cm}^2$, $x_6=17 \text{ cm}$ terjadi gerusan $1,78 \text{ cm}^2$. Pengaruh jarak melintang dengan luas gerusan menggunakan abutment tanpa sudut peralihan dapat di lihat pada gambar 41.

6. Struktur dengan menggunakan Abutment Sudut Peralihan 30° ($t=15$ menit)

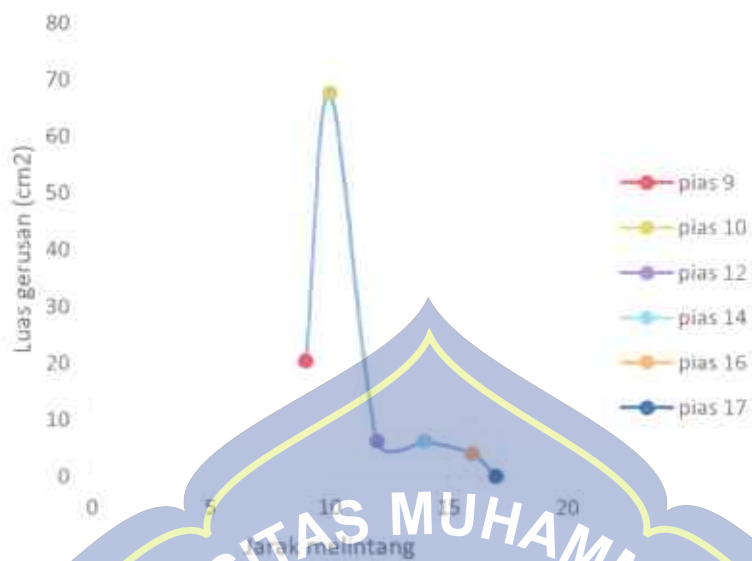
Pengaliran dengan debit $Q=0,0011 \text{ m}^3/\text{dtk}$ selama 15 menit dengan jarak melintang $x_1=9 \text{ cm}$ terjadi gerusan $8,55 \text{ cm}^2$, $x_2=10 \text{ cm}$ terjadi gerusan $16,3 \text{ cm}^2$, $x_3=12$ terjadi gerusan $3,75 \text{ cm}^2$, $x_4=14 \text{ cm}$ terjadi gerusan $1,78 \text{ cm}^2$, $x_5=16 \text{ cm}$ terjadi gerusan $3,7 \text{ cm}^2$, $x_6=17 \text{ cm}$ terjadi gerusan $0,46 \text{ cm}^2$. Pengaruh jarak melintang dengan luas gerusan menggunakan abutment sudut peralihan 30° dapat di lihat pada gambar 43.



Gambar 37. Grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutment tanpa sudut peralihan



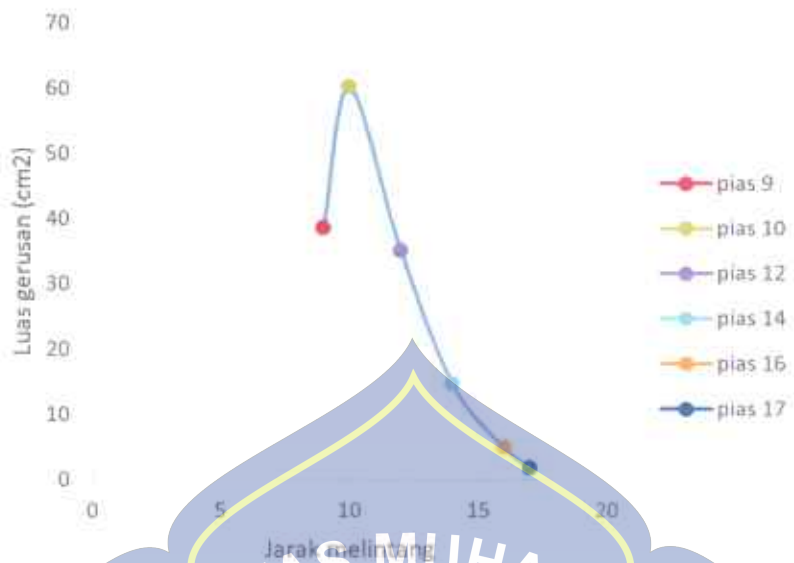
Gambar 38. Grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutmen sudut peralihan 30°.



Gambar 39. Grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutment tanpa sudut peralihan.



Gambar 40. Grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutmen sudut peralihan 30°.



Gambar 41. Grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutment tanpa sudut peralihan.



Gambar 42. Grafik hubungan antara jarak melintang dengan luas gerusan abutmen sudut peralihan 30°.

Dari grafik 38 di atas dapat dinyatakan bahwa gerusan yang terjadi pada variasi *abutment sudut peralihan 30°* mulai pada titik awal pengambilan data terjadi gerusan yang cukup dalam, hal ini dikarenakan perubahan aliran setelah menyentuh *abutment*, sehingga aliran air berputar dan menjadi aliran *vertical* menuju ke dasar saluran yang menyebabkan terjadi gerusan yang lebih besar pada sekitar *abutment* tanpa sudut peralihan. Sedangkan grafik 41 dapat dinyatakan bahwa pada *abutment* yang menggunakan *sudut tanpa peralihan*, gerusan terbesar berada di depan dan samping *abutmet*.

b. Presentase volume gerusan (%)

Presentase gerusan dihitung berdasarkan banyaknya gerusan yang terjadi pada setiap simulasi yang dilakukan dengan berbagai variasi *abutment*. Tujuan perhitungan presentase gerusan ini untuk mengetahui besarnya gerusan yang terjadi di sekitar pasangan *abutment* tanpa sudut peralihan (titik pengamatan) dan *abutment sudut peralihan 30°*. Hal ini dapat memberikan informasi mengenai variasi *abutment* yang paling efektif dalam mereduksi energi aliran sehingga tidak terjadi gerusan yang signifikan. Berikut tabel hasil perhitungan presentase volume gerusan untuk setiap variasi *abutment*.

Tabel 10. Presentase volume gerusan tanpa sudut peralihan.

Variasi Percobaan	Titik	Jarak	Volume Agradasi		Volume Degradasi		Volume Gerusan Total (cm ³)	Volume Material Sebelum Gerusan (cm ³)	Presentasi Gerusan (%)
			Luas (cm ²)	Vol rata-rata cm ³	Luas (cm ²)	Vol rata-rata cm ³			
H1T1	9		163,120		26,030		198,37	2880	4,80
		2		318,49		57,45			
	10		155,37		31,42				
		4		746,74		71,88			
	12		218		4,52				
		4		884		9,04			
	14		224		0				
		4		858,24		0			
	16		205,12		0				
		2		415,12		0			
H1T2	9		158,620		25,96		202,16	2880	7,02
		2		301,24		68,12			
	10		142,62		42,16				
		4		706,24		101,68			
	12		210,5		8,68				
		4		856,5		24,86			
	14		217,75		3,75				
		4		827		7,5			
	16		195,75		0				
		2		397,37		0			
H1T3	9		153,370		20,15		312,81	2880	10,86
		2		278,99		85,39			
	10		125,620		55,24				
		4		648,24		148,22			
	12		198,5		18,87				
		4		815		55,3			
	14		209		8,78				
		4		859,94		20,82			
	16		220,97		1,63				
		2		409,97		3,08			
	17		189		1,45				

H2T1	9		179,120		9,79		155,88	2880	5,41
		2		326,62		46,66			
	10		147,5		36,87				
		4		728		85,2			
	12		216,5		5,73				
		4		870		17,74			
	14		218,5		3,14				
		4		836		6,28			
	16		199,5		0				
		2		396,75		0			
	17		197,25		0				
H2T2	9		160,620		20,27		287,44	2880	9,98
		2		272,99		87,89			
	10		112,37		67,62				
		4		653,24		147,56			
	12		214,25		6,16				
		4		855		24,54			
	14		213,25		6,11				
		4		796,24		20,18			
	16		184,87		3,98				
		2		370,74		7,27			
	17		185,87		3,29				
H2T3	9		158,620		24,71		322,9	2880	11,21
		2		290,74		73,33			
	10		132,12		48,62				
		4		661,24		134,04			
	12		198,5		18,4				
		4		807,5		61,54			
	14		205,25		12,37				
		4		763,74		40,24			
	16		176,62		7,75				
		2		357,12		13,75			
	17		180,5		6				

H3T1	9		141,120		41,75	266,81	2880	9,25
		2		280,24	83,59			
	10		139,12		41,84			
		4		690,74	107,92			
	12		206,25		12,12			
		4		833,5	40,46			
	14		210,5		8,11			
		4		791	26,88			
	16		185		5,33			
		2		374,87	7,96			
	17		189,87		2,63			
H3T2	9		146,620		34,05	314,27	2880	10,91
		2		265,87	94,79			
	10		139,25		60,74			
		4		639,5	154,64			
	12		200,5		15,58			
		4		821,5	49			
	14		210,25		7,92			
		4		805	15,84			
	16		192,25		0			
		2		386,37	0			
	17		194,12		0			
H3T3	9		146,320		38,59	434,67	2880	15,09
		2		266,24	98,79			
	10		119,87		60,2			
		4		603,24	190,46			
	12		181,75		35,03			
		4		769,5	99,44			
	14		203		14,69			
		4		765,24	39,26			
	16		179,62		4,94			
		2		365,49	6,72			
	17		185,87		1,78			

Tabel 11. Presentase volume gerusan tanpa sudut peralihan 30°.

Variasi Percobaan	Titik	Jarak	Volume Agradasi		Volume Degradasi		Volume Gerusan Total (cm ³)	Volume Material Sebelum Gerusan (cm ³)	Presentasi Gerusan (%)
			Luas (cm ²)	Vol rata-rata cm ³	Luas (cm ²)	Vol rata-rata cm ³			
HIT1	9		174,000		6,000		131,68	2880	4,57
		2		337,87		22,12			
	10		163,87		16,12				
		4		755,74		42,76			
	12		214		5,26				
		4		854,5		21,6			
	14		213,25		5,54				
		4		785,5		27,04			
	16		179,5		7,98				
		2		355,12		18,16			
	17		175,520		10,18				
HIT2	9		136,500		0,12		30,47	2880	1,06
		2		378,62		6,87			
	10		182,12		6,75				
		4		810,74		18,14			
	12		223,25		2,32				
		4		906,5		4,9			
	14		230		0,13				
		4		865,24		0,46			
	16		202,62		0,1				
		2		411,87		0,1			
	17		209,25		0				
HIT3	9		218,370		5,52		35,92	2880	1,25
		2		400,49		12,32			
	10		182,120		6,75				
		4		810,74		18,14			
	12		223,25		2,32				
		4		906,5		4,9			
	14		230		0,13				
		4		865,24		0,46			
	16		202,62		0,1				
		2		411,87		0,1			
	17		209,25		0				

H2T1	9		176,250		16,93		101,77	2880	3,53
		2		344,62		39,17			
	10		168,37		22,24				
		4		790,58		50,72			
	12		226,92		3,12				
		4		911,84		9,06			
	14		229		1,41				
		4		864		2,82			
	16		203		0				
		2		414,5		0			
	17		211,5		0				
H2T2	9		191,620		2,83		92,59	2880	3,21
		2		374,24		11,45			
	10		182,62		8,62				
		4		792,24		36,3			
	12		213,75		9,53				
		4		867		29,22			
	14		219,75		5,08				
		4		824,74		13,8			
	16		192,62		1,82				
		2		391,87		1,82			
	17		196,25		0				
H2T3	9		182,750		5,5		96,61	2880	3,35
		2		351,75		23,85			
	10		169		18,35				
		4		778		45,32			
	12		220		4,31				
		4		886,5		14,42			
	14		223,25		2,9				
		4		826,18		10,46			
	16		189,84		2,33				
		2		385,58		2,56			
	17		195,74		0,23				

H3T1	9		192,000		3,47			
		2		377,3		12,7		
	10		185,3		9,23			
		4		822,6		25,02		
	12		226		3,28			
		4		910,5		8,02	47,2	2880
	14		229,25		0,73			1,64
		4		867,24		1,46		
	16		204,37		0			
		2		416,12		0		
	17		211,75		0			
H3T2	9		187,250		6,385			
		2		363,87		22,825		
	10		176,52		16,84			
		4		794,74		41,18		
	12		220,75		4,75			
		4		889		14,44	83,385	2880
	14		223,75		2,47			2,90
		4		845		4,94		
	16		198,75		0			
		2		400,75		0		
	17		202		0			
H3T3	9		183,620		8,55			
		2		357,99		24,87		
	10		174,37		16,32			
		4		800,74		40,14		
	12		226		3,75			
		4		908,5		11,06	91,19	2880
	14		228,25		1,78			3,17
		4		842,74		10,96		
	16		193,12		3,7			
		2		392,24		4,16		
	17		199,12		0,46			

Tabel 12. Rekap persentase volume gerusan (%)

Variasi percobaan (x)	Persentase gerusan (%) (y)	
	Abutmen tanpa sudut peralihan	Abutment sudut peralihan 30°
H1T1	4,80	4,57
H1T2	7,02	1,06
H1T3	10,86	1,25
H2T1	5,41	3,53
H2T2	9,98	3,21
H2T3	11,21	3,35
H3T1	9,26	1,64
H3T2	10,91	2,90
H3T3	15,09	3,17



Gambar 43. Grafik persentase gerusan pada abutment (%)

Dari garafik 43 di atas dapat di nyatakan bahwa *abutment tanpa sudut peralihan* memiliki persentase volume gerusan, h1t1 sebesar 4,80%, h1t2 sebesar 7,02%, h1t3 sebesar 10,86%, h2t1 5,41%, sebesar h2t2 9,98%, sebesar h2t3 sebesar 11,21%, h3t1 sebesar 9,26%, h3t2

sebesar 10,91%, dan h3t3 sebesar 15,29%, sedangkan persentase volume gerusan pada *abutment sudut peralihan 30°* memiliki persentase volume gerusan, h1t1 sebesar 4,57%, h1t2 sebesar 1,06%, h1t3 1,25%, h2t1 sebesar 3,53%, h2t2 sebesar 3,21%, h2t3 sebesar 3,35%, h3t1 sebesar 1,64%, h3t2 sebesar 2,90%, dan h3t3 sebesar 3,17%. Sehingga dapat di simpulkan bahwa struktur *abutment sudut peralihan 30°* paling efektif dalam mereduksi gerusan yang membahayakan keruntuhan abutment jembatan akibat terjadinya gerusan.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat di ambil dari penelitian " analisis (*abutment sudut peralihan 30°*) sebagai pelindung gerusan dasar pada jembatan" adalah:

Volume gerusan yang terjadi pada setiap pengujian bersifat variatif. Dari hasil perhitungan volume gerusan didapatkan volume gerusan yang paling sedikit terjadi pada variasi *abutment sudut peralihan 30°* yaitu sebesar 1,06 cm³.

B. Saran

Untuk penambahan alternatif media dalam mereduksi gerusan pada jembatan, kami menyarankan untuk menggunakan variasi *abutment sudut peralihan 30°*, karena dalam penelitian yang kami lakukan telah terbukti bahwa variasi *abutment* dengan kemiringan 30° paling efektif dalam mereduksi gerusan di sekitar *abutmet* jembatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurasyid, J. 2005. *Pengendalian Gerusan dengan Pelat di Sekitar Abutmen Jembatan pada Kondisi Ada Angkutan Sedimen (Live Bed Scour)*.
- Astuti, K.A dan Widyaningtias, 2006, Gerusan yang Terjadi di Sekitar Abutment Dinding Vertikal Tanpa Sayap (Kajian Laboratorium), Tugas Akhir, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung
- Affandi, Mukhammad Risyal.2007. Pengaruh Kedalaman Aliran Terhadap Perilaku Gerusan Lokal Di Sekitar Abutmen Jembatan. TugasAkhir. Semarang: UNNES.
- Breuser. H.N.C. and Raudkivi. A.J. 1991. *Scouring*. IAHR Hydraulic Structure Design Manual. Rotterdam : AA Balkema.
- Chow, V.T. 1992. *Hidraulika Saluran Terbuka*. Jakarta : Erlangga
- Gunawan, H.A. 2006. *Pengaruh Lebar Pilar Segiempat Terhadap Perilaku Gerusan Lokal*. Skripsi. Semarang : UNNES
- Hanwar, S. 1999. *Gerusan Lokal di Sekitar Abutment Jembatan*. Tesis.Yogyakarta : PPS UGM
- Halim, Fuad. 2014. *Pengaruh Debit Terhadap Pola Gerusan Di Sekitar Abutmen Jembatan (UjiLaboratorium Dengan Skala Model Jembatan Megawati)*. Tugas Akhir. Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Husnan, Rawiyah. ThdanYulistiyanto, Bambang. 2007. GerusanLokal di sekitarDuaAbutmendenganUpayaPengendaliannya.
- Jurnal Dinamika Teknik Sipil, no 2 volume 7, TeknikSipil, Yogyakarta: UGM.
- Legono, D., 1998, Diktat Kuliah Teknik Sungai, Program Pascasarjana, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Gadjahmada, Yogyakarta
- Mira, S. 2004. *Pola Gerusan Lokal Berbagai Bentuk Abutment dengan Adanya Variasi Debit*. Tugas Akhir. Yogyakarta : UGM
- Nova 1995, Triatmodjo, Bambang, 2008. *Hidrologi Terapan*, Beta Offset Yogyakarta..

Rinaldi. 2002. Model Fisik Pengendalian Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan. Tesis. Yogyakarta: PPS UGM.

Sucipto dan Nur Qudus. 2004. *Analisis Gerusan Lokal di Hilir Bed Protection*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan . Nomer 1 Volume 6. Januari 2004. Semarang : UNNES

Sucipto. 2010. Analisa Gerusan Lokal di Sekitar Semi-Circular-End Abutment dengan Perlindungan Groundsill pada Froud Number (Fr) 0,2. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, nomor 1, volume 12, Januari 2010. Semarang: UNNES.

Triatmodjo, B. 2003a. *Hidraulika I*. Yogyakarta. Beta Offset

Triatmodjo, B. 2003b. *Hidraulika II*. Yogyakarta. Beta Offset





Dokumentasi Hasil Penelitian

Gambar proses analisa saringan



Gambar proses timbangan



Gambar hasil analisa saringan



Gambar pemasangan alat dan bahan pada flume



Gambar pemasangan pasir pada flume



Pengukuran kedalaman aliran menggunakan mistar



Gambar pengukuran kedalaman aliran menggunakan *current meter*



Gambar hasil gerusan dengan *Bukaan 3,5*



Gambar hasil gerusan dengan *bukaan 4,0*



Gambar hasil gerusan dengan bukaan 4,0

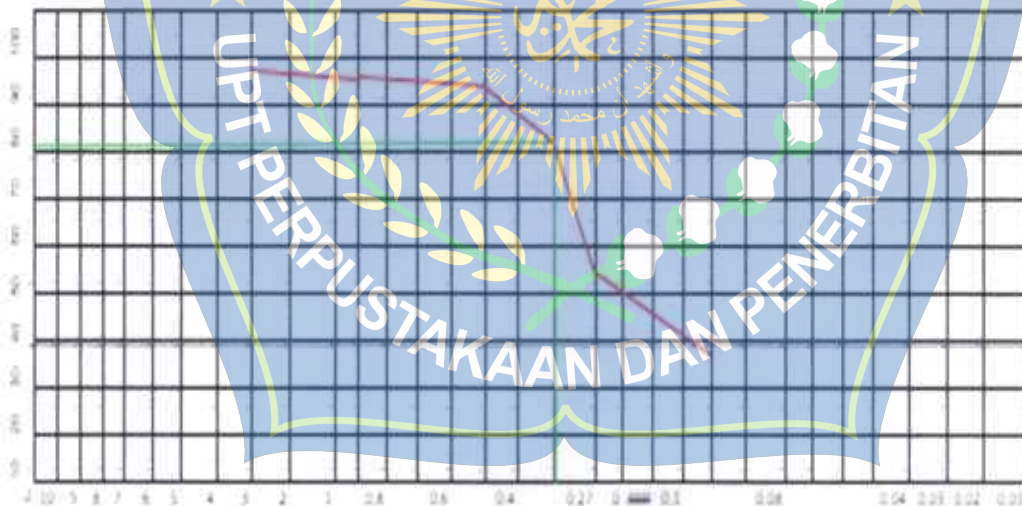




Tabel analisa saringan

No Saringan	Diameter (mm)	Berat Saringan (gram)	Berat Tertahan (gram)	Berat Saringan + Berat Tertahan (gram)	Σ Berat Tertahan Kumulatif	Persentase	
						Berat Tertahan (%)	Losol (%)
1	2	3	4	5 = (3 + 4)	6	7	8
8	2	406	9	415	9	1,08	98,92
16	0,82	400	7	407	16	1,92	98,08
40	0,41	387	31	418	47	5,63	94,37
50	0,27	374	107	481	154	18,44	81,56
100	0,16	374	244	618	398	47,66	52,34
200	0,075	247	110	357	508	60,84	39,16
Pan		320	327	647	835	100	0

Gambar grafik analisa saringan



Lampiran 2 : Tabel Analisa Kedalaman Aliran

Tabel hasil pengukuran kedalaman aliran dengan *runnning* kosong (h1)

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t)	tinggi aliran			h rata-rata	h
				Kanan	Tengah	Kiri		
			(menit)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	Running kosong	hulu	5	1,1	1	1,1	1,07	1,07
			10	1,1	1	1,1	1,07	
			15	1,1	1	1,1	1,07	
2		Sebelum Abutment	5	2	1,3	2	1,77	1,77
			10	2	1,3	2	1,77	
			15	2	1,3	2	1,77	
3		Sesudah Abutment	5	1,1	1	1,3	1,13	1,13
			10	1,1	1	1,3	1,13	
			15	1,1	1	1,3	1,13	
4		Hilir	5	1,3	1	1,1	1,13	1,13
			10	1,3	1	1,1	1,13	
			15	1,3	1	1,1	1,13	
Rata-rata kedalaman keseluruhan								1,2750

Tabel hasil pengukuran kedalaman aliran dengan *runnning* kosong (h_2)

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t)	tinggi aliran			$h_{rata-rata}$	h
			(menit)	Kanan (cm)	Tengah (cm)	Kiri (cm)	(cm)	(cm)
1	Running kosong	hulu	5	1,5	2	2,5	2,00	2,00
			10	1,5	2	2,5	2,00	
			15	1,5	2	2,5	2,00	
2		Sebelum Abutment	5	3	2,5	3	2,83	2,83
			10	3	2,5	3	2,83	
			15	3	2,5	3	2,83	
3		Sesudah Abutment	5	2	2,8	2	2,27	2,27
			10	2	2,8	2	2,27	
			15	2	2,8	2	2,27	
4		Hilir	5	3	2	2,7	2,57	2,57
			10	3	2	2,7	2,57	
			15	3	2	2,7	2,57	
Rata-rata kedalaman keseluruhan							2,416667	

Tabel hasil pengukuran kedalaman aliran dengan *runnning* kosong (h3)

[illegible]

Tabel hasil pengukuran kedalaman aliran dengan abutmen tanpa sudut peralihan (h1)

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t) (menit)	tinggi aliran			rata-rata (cm)	h (cm)
				Kanan (cm)	Tengah (cm)	Kiri (cm)		
1	Abutment tanpa sudut peralihan	hulu	5	2,5	2,5	2,5	2,50	2,37
			10	2,5	2,5	2,5	2,50	
			15	2	2	2,3	2,10	
2		Sebelum Abutment	5	2,5	2,6	2,6	2,57	3,52
			10	1,5	6	3	3,50	
			15	6	2,5	5	4,50	
3		Sesudah Abutment	5	2	3	1,5	2,17	1,73
			10	1,8	1	1,3	1,37	
			15	1	3	1	1,67	
4		Hilir	5	2	2,5	2	2,17	1,66
			10	1,5	1,2	1,3	1,33	
			15	1,8	1,3	1,3	1,47	
Rata-rata kedalaman keseluruhan								2,32

Tabel hasil pengukuran kedalaman aliran dengan *abutmen tanpa sudut peralihan (h2)*

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t) (menit)	tinggi aliran			h rata-rata (cm)	h (cm)
				Kanan	Tengah	Kiri		
				(cm)	(cm)	(cm)		
1	Abutment tanpa sudut peralihan	hulu	5	2,5	2,5	2	2,17	2,89
			10	2,5	2,5	2,5	2,83	
			15	2,5	2,3	2	3,67	
2		Sebelum Abutment	5	5	3	4	4,67	3,94
			10	6	3	5	4,00	
			15	6	3	5	3,17	
3		Sesudah Abutment	5	2	3,5	2	1,83	2,00
			10	2,5	3,5	2,5	2,17	
			15	2	3,1	1	2,00	
4		Hilir	5	2,5	3	3	2,33	2,11
			10	1,5	3,2	2	2,00	
			15	2	3	2	2,00	
		Rata-rata kedalaman keseluruhan						2,74

Tabel hasil pengukuran kedalaman aliran dengan Abutmen tanpa sudut peralihan (h3)

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t) (menit)	tinggi aliran			h rata-rata (cm)	h (cm)
				Kanan (cm)	Tengah (cm)	Kiri (cm)		
1	Abutment tanpa sudut peralihan	hulu	5	3	2,2	3,2	3,23	3,24
			10	3,5	3,5	3,5	3,50	
			15	3,5	3,6	3	3,00	
2		Sebelum Abutment	5	4,5	4,5	3,6	3,50	5,07
			10	6	3,8	5,7	5,70	
			15	6	3,6	6	6,00	
3		Sesudah Abutment	5	2	6,5	2	2,00	2,23
			10	2,7	4	2	2,00	
			15	3	3	2,7	2,70	
4	Hilir	5	1,5	3	1,5	1,50	2,40	
		10	3,5	3,2	3	3,00		
		15	2,7	3,5	2,7	2,70		
Rata-rata kedalaman keseluruhan								3,24

Tabel hasil pengukuran kedalaman aliran dengan *abutmen* sudut peralihan 30° (h1)

[illegible]

Tabel hasil pengukuran kedalaman aliran dengan *abutmen* sudut peralihan 30° (h2)

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t)	tinggi aliran			rata-rata	h (cm)
			(menit)	Kanan (cm)	Tengah (cm)	Kiri (cm)		
1	Abutment sudut peralihan 30°	hulu	5	3	3	3	3,00	2,67
			10	2	2	2	2,00	
			15	3	3	3	3,00	
2		Sebelum Abutment	5	2,5	2	2	2,17	2,56
			10	3	2	3	2,67	
			15	3	2,5	3	2,83	
3		Setelah Abutment	5	2	2,5	2	2,17	1,67
			10	1	2	1	1,33	
			15	1	2,5	1	1,50	
4		Hilir	5	3	2,5	1,5	2,33	2,09
			10	1,5	2,5	1	1,67	
			15	2	3	1,8	2,27	
Rata-rata kedalaman keseluruhan								2,24

Tabel hasil pengukuran kedalaman aliran dengan *abutmen sudut* peralihan 30° (h3)

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t)	tinggi aliran			h rata-rata	h
				Kanan	Tengah	Kiri		
				(menit)	(cm)	(cm)		
1	Abutment sudut peralihan 30°	hulu	5	2,8	2,8	2,8	3,00	3,17
			10	2,5	2,5	3	2,50	
			15	2,5	3	3	4,00	
2		Sebelum Abutment	5	2,5	2,5	2,5	3,30	1,93
			10	4	3	4	1,50	
			15	4	3	3,3	1,00	
3		Sesudah Abutment	5	1,3	2,5	1,5	1,50	2,00
			10	1,3	3	1	2,50	
			15	1,5	3	1,5	2,00	
4		hilir	5	1,5	2,5	2,5	2,50	2,42
			10	1,8	3	2	2,27	
			15	2	3	2,5	2,50	
Rata-rata kedalaman keseluruhan								2,38



Tabel hasil pengukuran kecepatan aliran dengan *Running kosong* untuk bukaan 3,5

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t)	Kecepatan (U_0)			U_0 rata-rata	U_0
				Kanan	Tengah	Kiri		
			(menit)	(m/dtk)	(m/dtk)	(m/dtk)	(cm/dtk)	(cm/dtk)
1	Running kosong	hulu	5	1,4	1,3	1	1,00	1,08
			10	1,4	1,3	1	1,23	
			15	1,4	1,3	1	1,00	
2		Sebelum abutment	5	1	0	0,4	2,47	1,16
			10	1	0,1	0,4	0,50	
			15	1	0,1	0,4	0,50	
3		Setelah abutment	5	1	1,1	0,6	0,90	0,90
			10	1	1,1	0,6	0,90	
			15	1	1,1	0,6	0,90	
4		hilir	5	1	1	0,8	0,93	0,93
			10	1	1	0,8	0,93	
			15	1	1	0,8	0,93	
Rata-rata pengaliran keseluruhan							1,02	

Tabel hasil pengukuran kecepatan aliran dengan *Running* kosong untuk bukaan 4.0

[illegible]

Tabel hasil pengukuran kecepatan aliran dengan *Running kosong* untuk bukaan 4.5

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t)	Kecepatan (U_0)			U_0 rata-rata	U_0
				Kanan	Tengah	Kiri		
			(menit)	(m/dtk)	(m/dtk)	(m/dtk)	(cm/dtk)	(cm/dtk)
1	Running kosong	hulu	5	2,4	2,5	2,3	2,40	2,40
			10	2,4	2,5	2,3	2,40	
			15	2,4	2,5	2,3	2,40	
2		Sebelum abutment	5	1,5	1,3	1,2	1,33	1,33
			10	1,5	1,3	1,2	1,33	
			15	1,5	1,3	1,2	1,33	
3		Sesudah abutment	5	1,3	1,4	1,2	1,30	1,30
			10	1,3	1,4	1,2	1,30	
			15	1,3	1,4	1,2	1,30	
4		hilir	5	1,2	1,4	1,2	1,27	1,27
			10	1,2	1,4	1,2	1,27	
			15	1,2	1,4	1,2	1,27	
Rata-rata pengaliran keseluruhan								1,58

Tabel hasil pengukuran kecepatan aliran dengan Abutment tanpa sudut peralihan bukaan 3.5

[illegible]

Tabel hasil pengukuran kecepatan aliran dengan *Abutment tanpa sudut peralihan* bukaan 4.0

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t)	Kecepatan (U_0)			U_0 rata-rata	U_0
				Kanan	Tengah	Kiri		
				(menit)	(m/dtk)	(m/dtk)		
1	Abutment tanpa sudut peralihan	hulu	5	0,6	0,7	0,7	0,87	0,68
			10	0,6	0,6	0,3	0,50	
			15	1,1	0,8	0,7	0,87	
2		Sebelum abutment	5	1	1	1	1,00	1,01
			10	1	1	1,1	1,03	
			15	1	1	1	1,00	
3		Sesudah abutment	5	0,6	0,3	0,5	0,47	0,67
			10	0,4	1	0,4	0,60	
			15	0,9	1,3	0,6	0,93	
4		hilir	5	0,2	1,3	0,3	0,60	0,63
			10	0,3	1,1	0,6	0,63	
			15	0,5	1,1	0,4	0,67	
		Rata-rata pengaliran keseluruhan						0,747222

Tabel hasil pengukuran kecepatan aliran dengan *Abutment* tanpa sudut peralihan bukaan 4.5

[illegible]

Tabel hasil pengukuran kecepatan aliran dengan *Abutment sudut peralihan 30°* bukaan 3.5

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t) (menit)	Kecepatan (U_0)			U_0 rata-rata (cm/dtk)	U_b (cm/dtk)
				Kanan (m/dtk)	Tengah (m/dtk)	Kiri (m/dtk)		
1	Abutment sudut peralihan 30°	hulu	5	0,1	0,1	0,1	0,10	0,23
			10	0,1	0,1	0,1	0,10	
			15	0,5	0,5	0,4	0,50	
2		Sebelum abutment	5	0,1	0,8	0,8	0,43	0,79
			10	1	1	0,9	0,97	
			15	0,9	1	1	0,97	
3		Sesudah abutment	5	0,5	0,9	0,1	0,50	0,46
			10	0,1	1,1	0,1	0,43	
			15	0,1	1,1	0,1	0,43	
4		Hilir	5	0,1	1,1	0,1	0,43	0,47
			10	0,1	1,1	0,1	0,53	
			15	0,1	1,1	0,1	0,43	
Rata-rata pergaliran keseluruhan								0,488111

Tabel hasil pengukuran kecepatan aliran dengan Abutment sudut peralihan 30° bukaan 4,0

No.	Variasi Struktur	Titik Pengukuran	Waktu (t) (menit)	Kecepatan (U_0)				U_0 rata-rata (cm/dtk)	U_0 (cm/dtk)
				Kanan (m/dtk)	Tengah (m/dtk)	Kiri (m/dtk)			
1	Abutment sudut peralihan 30°	Hulu	5	0,3	0,6	0,3	0,40	0,50	
			10	0,9	0,7	0,4	0,67		
			15	0,1	1	0,2	0,43		
2		Sebelum abutment	5	0,9	0,7	0,4	0,67	1,31	
			10	6	0,6	0,3	2,30		
			15	0,9		1	0,97		
3		Sesudah abutment	5	0,1	1	0,2	0,43	0,48	
			10	0,4	0,7	0,4	0,50		
			15	0,4	0,9	0,2	0,50		
4		Hilir	5	0,3	1,2	0,4	0,63	0,62	
			10	0,1	0,7	0,1	0,30		
			15	0,3	1,2	0,4	0,63		
Rata-rata pengaliran keseluruhan								0,702778	

Tabel hasil pengukuran kecepatan aliran dengan *Abutment sudut peralihan 30°* bukaan 4,5

[illegible]



LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

Data Hasil Pengamatan

Tabel pengamatan *running kosong* (h1)

h	A	B	C	D	E	F
kanan	1	2	2	1,1	1	1,3
tengah	1	1,2	1,3	1	1	1
kiri	1,1	2	2	1,3	1	1,1

v	A	B	C	D	E	F
kanan	1,4	1,4	1	1	1,1	1
tengah	1,3	1,3	1	1,1	1,2	1
kiri	1	0,4	0,4	0,6	0,8	0,8

Tabel pengamatan *running kosong* (h2)

h	A	B	C	D	E	F
kanan	1,5	2,5	3	3	2,3	3
tengah	2	2	2,8	2,8	2,5	2
kiri	2,5	2,7	2	2	2,6	2,7

v	A	B	C	D	E	F
kanan	2,2	1,4	1,4	1	1,1	1,2
tengah	2	1,6	1,3	1,5	1,3	1,6
kiri	1,3	1,5	1,2	0,7	1	1,3

Tabel pengamatan *running kosong* (h3)

h	A	B	C	D	E	F
kanan	2,5	1,6	4	2	3	2,2
tengah	3	2	2,5	2,6	2,7	2,3
kiri	2,6	2,8	3	2	2,4	2,7

v	A	B	C	D	E	F
kanan	2,4	1,6	1,5	1,3	1,4	1,2
tengah	2,5	2,2	1,3	1,4	1,3	1,4
kiri	2,3	2,1	1,2	1,2	0,8	1,2



LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

Tabel pengamatan *abutment* tanpa sudut peralihan

h	A	B	C	D	E	F
kanan	2,5	2,5	2,5	2	2	2
tengah	2,5	2,5	2,6	3	2,5	2,5
kiri	2,5	2,5	2,6	1,5	2	2

v	A	B	C	D	E	F
kanan	0,4	0,5	0,5	0,6	0,2	0,2
tengah	0,6	0,6	0,9	1,3	1,3	1,1
kiri	0,4	0,4	0,7	0,7	0,3	0,1

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	43	42,9	43	42,9	42,8	42,9	42,9	42,8	42,8	43	43	43,1
2	43	43	43	43	42,9	42,8	42,8	43	43	43	43	43,1
3	43	43	42,9	42,7	42,7	42,7	42,6	42,8	43	43,2	43,2	43,4
4	43	42,8	42,8	42,8	42,9	42,7	42,7	43	43	43,5	43,5	43
5	43	43	43	43	42,9	42,9	42,9	42,8	43	43,2	43,4	43,5
6	43,5	43,3	43,3	43,2	43	42,8	42,8	43,2	43,3	43,3	43,5	43,8
7	43,7	44,4	44,4	43,4	43,3	43,2	42,9	43	43,1	44,6	45,2	45,9
8	45,3	45,1	45,2	44,5	43,5	43,2	43	43	43,1	44,3	45,1	45,5
9	45,5	46	45,4	44	43	43	43	43,1	45	45,5	45,6	45,6
10	46,2	46,3	45,8	45,4	44,2	43,2	43	43	44	45	45,9	46
11	40	40	45,1	45	44	43,5	43,1	43,1	43,5	44,9	40	40
12	40	40	45	44,5	43,5	43,2	43,5	44	44,5	44,6	40	40
13	40	40	44,6	44	43,5	43,4	43,6	43,5	43,7	44,2	40	40
14	40	40	44,2	43,8	43,5	43,4	43,6	43,9	44	44	40	40
15	40	40	44	43,6	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	43,7	40	40
16	42,4	42,9	43,7	43,6	43,9	43,5	43,5	43,4	43,6	43,4	42,1	42,1
17	42,4	42,3	43,1	43,3	43,6	43,7	43,5	43,2	43,1	43	42,6	42,1
18	42,4	42,7	43,4	43,5	43,6	43,6	43,5	43,3	43,2	42,9	42,7	42
19	42,4	42,4	43,2	43,6	43,7	43,5	43,3	43,1	42,9	42,5	42	41,9
20	42,3	42,6	43,2	43,5	43,7	43,5	43,1	43	42,8	42,6	42,5	41,9
21	42,3	42,6	43	43,5	43,6	43,5	43,2	42,99	42,6	42,4	42,1	42,1
22	42,4	42,6	43	43,4	43,6	43,5	43,3	42,8	42,6	42,4	42,1	42,1
23	42,3	42,6	42,9	43,5	43,5	43,5	43,2	42,9	42,6	42,5	42,2	42,1
24	42,4	42,6	43	43,2	43,5	43,5	43,2	42,8	42,6	42,4	42,2	42
25	42,6	42,6	43,1	43,2	43,4	43,5	43,2	42,9	42,7	42,4	42,2	42,1



LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

Tabel pengamatan *abutment* sudut peralihan 30°

h	A	B	C	D	E	F
kanan	1	1	1	1	0	0
tengah	1	1,2	1,3	2	2	2
kiri	1	1	1,3	0	0	0

v	A	B	C	D	E	F
kanan	0,1	0,1	0	0,5	0,2	0
tengah	0,1	0,1	0,6	0,9	1	1,1
kiri	0,1	0	0,6	0	0	0

NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	44	44	44,2	44,3	44,4	44,2	44,4	44,4	43,9	44,1	44	44,1
2	43,9	44,1	43,8	43,9	44	44,1	43,7	43,6	44,4	44,3	44,2	43,5
3	43,8	43,7	43,8	43,9	43,9	43,5	43,8	43,9	44	44,1	44,2	43,5
4	44	44	44,1	44,1	44,1	44	44	44	44,1	43,9	43,9	43,9
5	44	44,2	44	44,3	44,3	44	44	44	44	44	44	43,9
6	44	44	44,5	44,5	44,1	43,9	44	44,2	44	44	43,5	43,5
7	44	44,2	44,1	44	43,4	43,9	43,8	43,8	44,1	44	44	44
8	44,2	44,2	44,1	44	44	43,8	43,9	44,2	44,2	43,8	43,9	43,9
9	44,2	44,2	44,3	44,5	44,2	44	44	44	44,5	44,2	44,2	44,1
10	45	45	45	44,8	44,5	44	44	44	44	44,5	44,9	44,8
11	40	40	44,8	44,7	44,1	44	44	44	44	44	40	40
12	40	40	44,7	44,7	44,5	44,2	44	44,1	44,2	44	40	40
13	40	40	44,1	44,2	44	44	44,1	44,2	44,3	44,4	40	40
14	40	40	44,5	44,4	44	44,4	44,2	44,1	44,5	44,6	40	40
15	40	40	44,1	43,9	44	44,1	44,5	44,5	44	44	40	40
16	43,5	44,5	44,5	44,7	44,4	44,2	44,3	44,1	44,5	44,2	42,9	42,7
17	42,3	44,4	44,9	44,5	44,4	44,3	44,4	44,5	44,6	44	42,6	44,7
18	42,5	44,5	44,4	44,3	44,2	44,3	44,4	44	43,9	42,6	42,6	42,7
19	44,4	44,3	44,3	44,6	44,7	44,8	44,4	44,3	44,1	44	43,9	42,5
20	42,5	44,7	44,4	44,5	44,3	44	44	44	44	44,1	42,6	42,4
21	42,5	44,2	44,4	44,5	44,5	44,4	44	44	44,1	4,1	43,9	42,7
22	42,8	44,9	44,5	44,7	45,2	44,6	44,4	44,2	44,3	44,3	44,2	44,3
23	42,6	44	44,1	44,5	45	44,9	44,6	44	43,9	43,9	43,2	43
24	43,3	44,2	44,6	44,9	45	44,4	44,2	44	43,9	43,7	43	43
25	43,2	44,1	44,4	44,8	44,9	44,8	44,4	44	44,1	44	43,9	43,1

Makassar, 28 Juli 2020

Asisten Laboratorium

Syamsuddin, S.T
NBM. 123 5747