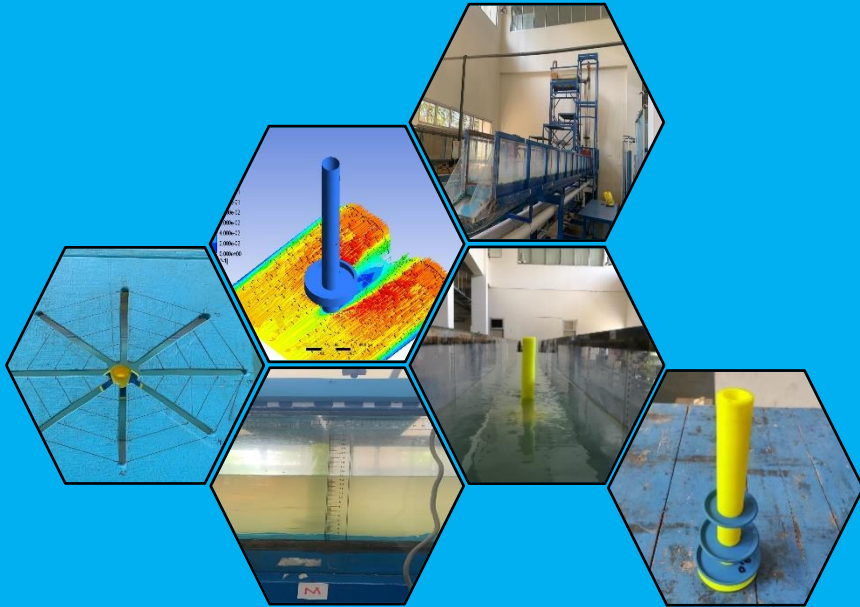


ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DI SEKITAR PILAR JEMBATAN DENGAN VARIASI COLLAR

Analysis of Flow Characteristics Around the Bridge Pillars with Collar Variations



SERI TANDIRA'PAK
D01 2221 043



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

TESIS

ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DI SEKITAR PILAR JEMBATAN DENGAN VARIASI COLLAR

SERI TANDIRA'PAK
D012221043

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 18 Desember 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT. PU-SDA
NIP. 196410201991031002

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, ST., MT., IPU., AER
NIP. 198104252008121001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST. MT. IPM, AER
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr. Ir. M. Asad Abdurrahman, ST, M.Eng., PM, IPM
NIP. 197303061998021001

**PERNYATAAN KEASLIAN DAN
PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertandatangan dibawah ini

Nama : Seri Tandira'pak
Nomor Induk Mahasiswa : D01 2221 043
Program Studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul "Analisis Karakteristik Aliran di Sekitar Pilar Jembatan dengan Variasi Collar" adalah benar Karya saya dengan Arahan dari Komisi Pembimbing Prof. Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT., PU-SDA dan Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, ST., MT., IPU., AER. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah diproses di Jurnal/ Prosiding *The 5th Internasional Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE) 2024, IOP Conference on Civil and Environmental Science*, sebagai artikel dengan judul ("*Distribution of Flow Velocity Due to the Existence of Bridge Pillars*").

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

Gowa, 13 Desember 2024

Yang menyatakan,



Seri Tandira'pak

ABSTRAK

Seri Tandira'pak. Analisis Karakteristik Aliran Di Sekitar Pilar Jembatan Dengan Variasi *Collar* (dibimbing oleh Farouk Maricar dan Bambang Bakri).

Karakteristik aliran di sungai dapat dipengaruhi oleh adanya bentuk pilar. Keberadaan Pilar di sebagian tengah sungai menyebabkan lebar sungai mengalami penyempitan dan akan menimbulkan pengaruh pada perilaku aliran yang melewatinya. Perubahan perilaku aliran yang direpresentasikan dalam kecepatan aliran ini akan menimbulkan perubahan pula pada distribusi kecepatan. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis pengaruh pilar dalam mereduksi kecepatan aliran dengan variasi penempatan collar secara vertikal, menganalisis hubungan antara parameter kecepatan aliran terhadap variasi collar pada pilar jembatan, dan menganalisis pola aliran di sekitar pilar. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa distribusi kecepatan aliran menunjukkan perubahan aliran yang signifikan. Distribusi kecepatan aliran arah vertikal tanpa adanya collar pada pilar memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran setelah adanya collar. Hal ini diakibatkan karena adanya gaya gesekan pada collar dan dasar saluran sehingga aliran menjadi lebih lambat. Collar 3D memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap perubahan kecepatan dibandingkan dengan collar 2D dan 2,5D. Dari hasil pengamatan dapat dilihat bahwa semakin besar collar yang digunakan, semakin besar pula kecepatan yang terjadi di atas collar dan kecepatan di bawah collar semakin kecil. Perubahan pola aliran dapat dilihat dengan adanya perubahan arah aliran, serta perubahan nilai kecepatan aliran untuk setiap variasi diameter collar dan variasi penempatan collar. Dengan menggunakan persamaan Root Mean Square Error diperoleh nilai tingkat kesalahan antara hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi sebesar 6% keadaan tanpa collar, 15% pada c3h0, 17% pada c3h1 dan 11% pada keadaan c3h2. Berdasarkan nilai RMSE yang didapatkan bahwa data simulasi tersebut dikatakan bagus tingkat kebenarannya.

Kata Kunci: Kecepatan aliran, kedalaman aliran, pilar, sungai, collar

ABSTRACT

Seri Tandira'pak. Analysis of Flow Characteristics Around Bridge Pillars with Collar Variations (supervised by Farouk Maricar and Bambang Bakri).

Flow characteristics in rivers can be influenced by the shape of the pillars. The presence of pillars in the middle of the river causes the width of the river to narrow and will have an influence on the behavior of the flow that passes through it. Changes in flow behavior represented in this flow velocity will also cause changes in the velocity distribution. The purpose of this research is to analyze the effect of pillars in reducing flow velocity with variations in vertical collar placement, analyze the relationship between flow velocity parameters to collar variations on bridge pillars, and analyze flow patterns around pillars. Based on the results of the research that has been carried out, it can be concluded that the flow velocity distribution shows significant changes in flow. The vertical direction flow velocity distribution without a collar on the pillar has a higher velocity than the flow velocity after the collar. This is due to the friction force on the collar and the bottom of the channel so that the flow becomes slower. The 3D collar has a greater influence on changes in velocity than the 2D and 2.5D collars. From the observations, it can be seen that the larger the collar used, the greater the velocity above the collar and the smaller the velocity below the collar. Changes in flow patterns can be seen with changes in flow direction, as well as changes in flow velocity values for each collar diameter variation and collar placement variation. By using the Root Mean Square Error equation, the value of the error rate between field measurements and simulation results is 6% in the state without collars, 15% in c3h0, 17% in c3h1 and 11% in the c3h2 state. Based on the RMSE value obtained, the simulation data is said to have a good level of truth.

Keywords: Flow velocity, flow depth, pillar, river, collar

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh kerendahan hati penulis panjatkan puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan susunan proposal Tesis ini yang merupakan salah satu persyaratan akademik guna menyelesaikan studi magistes pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam tulisan ini penulis menyajikan pokok bahasan menyangkut masalah dibidang keairan, dengan judul: “ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DI SEKITAR PILAR JEMBATAN DENGAN VARIASI COLLAR” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi Magister pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Kami menyampaikan penghargaan sangat tinggi dan mendalam kepada berbagai pihak yang telah membantu melewati semua proses penyusunan Tesis ini, terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT, IPM, ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Dr. Ir. M. Asad Abdurrahman, ST., M.Eng. PM, IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Prof. Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT. PU-SDA selaku pembimbing I yang selalu memberikan arahan dan petunjuk dalam penyusunan Tesis ini.
5. Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, ST., MT., IPU., AER, selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan pengarahan dalam proses penyusunan Tesis ini.
6. Prof. Dr. Ir. Muhammad Saleh Pallu, M.Eng, Dr. Eng. Ir. Rita Tahir, MT, dan Dr. Eng. Ir. Riswal Karamma, ST., MT., IPM., AER, selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam proses penyusunan Tesis ini.
7. Serta seluruh dosen, staff dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada orang tua saya tercinta, khususnya ayah saya, Lisu Balle, dan ibu saya, L. Kanan, atas doa, kasih sayang, dan dukungan yang telah diberikan selama ini, baik secara spiritual maupun material.
2. Saudara tercinta saya Imelda Tandira'pak, Roy Tandira'pak, ST.,MT, Feri Tandira'pak, Riana Tandira'pak, Sryanti Balle, beserta kakak ipar saya yang terkasih Ho Khi Long, Tarzam Matandung, Etty Parupang, Ruth Ria Rante La'bi, S.K.M, yang selalu memberikan dukungan baik dalam bentuk doa

maupun materi. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh keluarga besar atas dorongan dan nasehat yang telah diberikan.

3. Sahabat saya Progustin, Yuspina, Jenri, Misel, Ramdhani, dan Apryanto yang selalu menemani dalam suka duka hingga ada di titik ini.
4. Seluruh rekan mahasiswa S2 dan S3, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tesis ini.

Penulis mengakui bahwa semua ciptaan manusia pada dasarnya memiliki kekurangan; oleh karena itu, saya berharap para pembaca dapat memberikan masukan untuk meningkatkan kualitas dan orisinalitas tesis ini.

Sebagai penutup, semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karuniaNya kepada kita semua dan semoga tesis ini terbukti sangat bermanfaat, khususnya di bidang Teknik Sipil.

Penulis



Ser Tandira'pak

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	1
BAB I PENDAHULUAN	4
1.1 Latar Belakang.....	4
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Sungai	6
1.7 Pola Aliran.....	7
1.8 Karakteristik Aliran	8
1.9 Kecepatan Aliran	11
1.10 Validasi Data	11
1.11 Validasi Model Simulasi	15
1.12 Pilar Jembatan.....	15
1.13 Penerapan Plat (Collar) sebagai Penanggulangan Gerusan Lokal di Pilar Jembatan.....	18
1.14 Kerangka Pikir	20
BAB II METODOLOGI PENELITIAN.....	18

2.1	Tempat dan Waktu Penelitian	18
2.2	Variabel Yang di Teliti	18
2.3	Perencanaan Saluran dan Model.....	18
2.4	Rancangan Penelitian	19
2.5	Bagan Alir Penelitian	25
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN		27
3.1	Parameter Penelitian.....	27
3.2	Perhitungan Debit Aktual	27
3.3	Distribusi Kecepatan Aliran	27
3.4	Pengaruh Penempatan Collar Terhadap Bilangan Froud (Fr)	37
3.5	Pengaruh Penempatan Collar Terhadap Bilangan Reynolds (Re)	41
3.6	Hasil Simulasi <i>CFD: ANSYS Fluent</i>	46
3.7	Analisa Pola Aliran Hasil Simulasi <i>CFD : ANSYS Fluent</i>	51
3.8	Validasi Data	53
3.9	Pembahasan	55
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....		57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		20

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Koefisien Faktor Bentuk Pilar	16
Tabel 2 Dimensi saluran dan pilar	19
Tabel 3 Perhitungan Debit Aktual.....	27
Tabel 4 Rekapitulasi perhitungan debit	27
Tabel 5 Perbandingan Pengukuran Lapangan dengan Hasil Simulasi.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Aliran Turbulen dan Laminer	10
Gambar 2 Model Pilar.....	16
Gambar 3 Koefisien arah sudut aliran ($K\alpha$) pada pilar (Breuser dan Raudkivi, 1991)	18
Gambar 4 Penempatan Collar di sekitar Pilar berbentuk lenticular dan silinder (Mashahir dkk. 2004).....	19
Gambar 5 Pemasangan collar pada pilar di atas dasar saluran (Kumar dkk, 1999)	19
Gambar 6 Kerangka pikir penelitian	20
Gambar 7 Lokasi Penelitian	18
Gambar 8 Recirculating flume yang digunakan untuk uji model.....	19
Gambar 9 Tampak Model.....	20
Gambar 10 Tampak atas Model collar	20
Gambar 11 Stopwatch.....	20
Gambar 12 Model Pilar.....	21
Gambar 13 Portable Velocity Meter LS-100.....	21
Gambar 14 Point gauge	21
Gambar 15 Kamera	22
Gambar 16 Tampak atas penempatan model Collar dan pilar jembatan	22
Gambar 17 Tampak samping posisi penempatan model Collar dan pilar jembatan.....	23
Gambar 18 Tampak atas posisi pengambilan kecepatan di sekitar pilar.....	23
Gambar 19 Titik pengukuran.....	23
Gambar 20 Letak titik pengukuran kecepatan pada sekitar pilar	24
Gambar 21 Bagan alir (flow chart) penelitian	26
Gambar 22 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di dasar aliran (h_0) pada section A1	28
Gambar 23 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di dasar aliran (h_0) pada section E1	28
Gambar 24 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 3 cm (h_1) pada section A1	29
Gambar 25 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 3 cm (h_1) pada section E1	29
Gambar 26 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 6 cm (h_2) pada section A1	30
Gambar 27 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 6 cm (h_2) pada section E1	30
Gambar 28 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di dasar aliran (h_0) pada section A1	31
Gambar 29 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di dasar aliran (h_0) pada section E1	31
Gambar 30 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 3 cm (h_1) pada section A1	32
Gambar 31 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 3 cm (h_1) pada section E1	32
Gambar 32 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 6 cm (h_2) pada section A1	33

Gambar 33 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 6 cm (h_2) pada section E1	33
Gambar 34 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di dasar aliran (h_0) pada section A1	34
Gambar 35 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di dasar aliran (h_0) pada section E1	34
Gambar 36 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 3 cm (h_1) pada section A1	35
Gambar 37 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 3 cm (h_1) pada section E1	35
Gambar 38 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 6 cm (h_2) pada section A1	36
Gambar 39 Hubungan antara kecepatan aliran dengan kedalaman aliran arah vertikal di penempatan collar 6 cm (h_2) pada section E1	36
Gambar 40 Hubungan antara Fr dan h pada Collar 2D	37
Gambar 41 Hubungan antara Fr dan h pada Collar 2,5D	37
Gambar 42 Hubungan antara Fr dan h pada Collar 3D	38
Gambar 43 Hubungan antara Fr dan h pada Collar 2D	38
Gambar 44 Hubungan antara Fr dan h pada Collar 2,5D	39
Gambar 45 Hubungan antara Fr dan h pada Collar 3D	39
Gambar 46 Hubungan antara Fr dan h pada Collar 2D	40
Gambar 47 Hubungan antara Fr dan h pada Collar 2,5D	40
Gambar 48 Hubungan antara Fr dan h pada Collar 3D	41
Gambar 49 Hubungan antara Re dan h pada Collar 2D	41
Gambar 50 Hubungan antara Re dan h pada Collar 2,5D	42
Gambar 51 Hubungan antara Re dan h pada Collar 3D	42
Gambar 52 Hubungan antara Re dan h pada Collar 2D	43
Gambar 53 Hubungan antara Re dan h pada Collar 2,5D	43
Gambar 54 Hubungan antara Re dan h pada Collar 3D	44
Gambar 55 Hubungan antara Re dan h pada Collar 2D	44
Gambar 56 Hubungan antara Re dan h pada Collar 2,5D	45
Gambar 57 Hubungan antara Re dan h pada Collar 3D	45
Gambar 58 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,2h	46
Gambar 59 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,6h	46
Gambar 60 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,8h	47
Gambar 61 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,2h	47
Gambar 62 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,6h	48
Gambar 63 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,8h	48
Gambar 64 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,2h	49
Gambar 65 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,6h	49
Gambar 66 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,8h	49
Gambar 67 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,2h	50
Gambar 68 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,6h	50
Gambar 69 Hasil Running Program CFD : ANSYS Fluent kedalaman 0,8h	51
Gambar 70 Hasil Simulasi Pola Aliran Pada Penempatan Collar di Dasar Saluran (h_0)	51
Gambar 71 Hasil Simulasi Pola Aliran Pada Penempatan Collar di h_1	52
Gambar 72 Hasil Simulasi Pola Aliran Pada Penempatan Collar di h_2	52
Gambar 73 Hasil Simulasi Pola Aliran Tanpa Collar	53

Gambar 74 Validasi data dengan menggunakan collar diameter 9 cm (c3), penempatan collar pada dasar saluran (h0)	53
Gambar 75 Validasi data dengan menggunakan collar diameter 9 cm (c3), penempatan collar di 3 cm (h1).....	54
Gambar 76 Validasi data dengan menggunakan collar diameter 9 cm (c3). penempatan collar 6 cm (h2)	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan daerah aliran air yang memisahkan antara daerah satu dengan yang lainnya. Untuk menghubungkan daerah yang terpisah oleh sungai dapat digunakan jembatan. Beberapa jembatan menggunakan pilar sebagai tumpuan beban, tetapi dengan adanya pilar ini akan mempengaruhi perubahan morfologi sungai. Perubahan morfologi ini akan mempengaruhi perubahan pola arus di sekitar pilar berupa penurunan kecepatan arus dari kecepatan tinggi menjadi kecepatan rendah, serta arah arus sebelum dan sesudah penempatan pilar. Adanya pilar jembatan pada ruas sungai menyebabkan perubahan pola aliran yang menimbulkan gerusan lokal di sekitar pilar sehingga mengakibatkan penurunan elevasi dasar sungai.

Kondisi aliran saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebasnya cenderung berubah sesuai waktu dan ruang, disamping itu ada hubungan ketergantungan antara kedalaman aliran, debit air, kemiringan dasar saluran dan permukaan saluran bebas itu sendiri. Perubahan pola aliran dapat terjadi karena adanya rintangan atau halangan pada aliran sungai tersebut yaitu berupa bangunan sungai misalnya pilar, abutmen, krib sungai, revetment, dan sebagainya. Bangunan semacam ini dipandang dapat merubah geometri alur serta pola aliran, yang selanjutnya diikuti dengan timbulnya gerusan lokal di sekitar bangunan. Keberadaan Pilar di sebagian tengah sungai menyebabkan lebar sungai mengalami penyempitan dan akan menimbulkan pengaruh pada perilaku aliran yang melewatinya. Perubahan perilaku aliran yang direpresentasikan dalam kecepatan aliran ini akan menimbulkan perubahan pula pada distribusi sedimen. Adapun berbagai aktivitas yang terjadi di sungai secara terus menerus dalam waktu yang lama akan memberi dampak terhadap bangunan air di sekitar aliran. Seperti terjadinya gerusan di sekitar pilar jembatan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Gerusan merupakan penurunan sungai akibat terkikis oleh aliran air dan memiliki kecenderungan untuk merusak pondasi jembatan. Proses terjadinya gerusan biasanya berlangsung secara bertahap sedikit demi sedikit namun dalam jangka waktu yang lama. Proses ini akan terlihat lebih nyata dan jelas pada saat terjadi banjir besar, hal ini didasari karena saat terjadi banjir debit air akan meningkat sehingga fluktuasi air tidak lagi dapat diprediksi. Jika gerusan lokal di sekitar pilar terjadi dalam jangka waktu yang panjang, maka kedalaman gerusan di sekitar pilar semakin dalam, sehingga dapat mengakibatkan rusak atau robohnya konstruksi jembatan.

Adanya struktur pilar pada saluran dapat mempengaruhi kecepatan aliran di sekitarnya. Perubahan aliran dapat diamati secara visual atau berdasarkan bilangan Froude dan kecepatan aliran pada struktur merupakan pengaruh aliran turbulen yang dipengaruhi oleh gaya hambat gesekan akibat viskositas fluida.

Tarikan gesekan bergantung pada bilangan Reynold aliran berdasarkan kecepatan aliran (U) dan panjang aliran yang mendekat (L). Oleh karena itu, penting juga untuk mengungkapkan pengaruh struktur tersebut terhadap aliran turbulen karena aliran turbulen dapat mempengaruhi perilaku pengendapan sedimen.

Upaya pengendalian gerusan lokal umumnya dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu: pengendalian armoring dan pengendalian dengan modifikasi aliran (Abdallah Mohamed dkk, 2015). Pengendalian armoring adalah penambahan lapisan lain yang bertujuan untuk menahan tegangan geser hidrolis sehingga memberikan perlindungan terhadap material dasar sungai yang dapat terkikis. Adapun Pengendalian modifikasi aliran bertujuan untuk mengubah karakteristik aliran sehingga dapat mengurangi gerusan yang dapat terjadi. Penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan dalam upaya mengurangi gerusan lokal di pilar maupun abutmen dengan melakukan rekayasa-rekayasa pengendalian gerusan lokal di sekitar elemen struktur jembatan dengan beragam tujuan seperti memberikan bentuk pada pilar, mengatur kemiringan dasar saluran, membuat kekasaran bahan di pilar, dan mengurangi kecepatan aliran dengan berbagai model hambatan.

Guna mengatasi fenomena tersebut perlu adanya kajian laboratorium mengenai kecepatan aliran yang terjadi disekitar pilar jembatan. Proses yang terjadi perlu diteliti untuk mengetahui parameter aliran yang mempengaruhi gerusan di sekitar pilar jembatan sehingga selanjutnya dapat dicari upaya pengendalian dan pencegahan gerusan pada pilar agar kerusakan dan keruntuhan konstruksi dapat dihindari. Untuk itu akan dikaji penggunaan kombinasi bentuk pilar jembatan dengan variasi *collar*, dengan pertimbangan bahwa bentuk tersebut akan dapat mereduksi gerusan lokal disekitar pilar Jembatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi *collar* pada pilar jembatan dalam mereduksi kecepatan aliran?
2. Bagaimana pengaruh penempatan collar terhadap kecepatan aliran pada pilar jembatan?
3. Bagaimana menganalisis pola aliran di sekitar pilar?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh pilar dalam mereduksi kecepatan aliran dengan variasi penempatan collar secara vertikal.
2. Menganalisis pengaruh penempatan collar terhadap kecepatan aliran pada pilar jembatan?
3. Menganalisis pola aliran di sekitar pilar.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi untuk mengetahui tingkat gerusan yang terjadi disekitar pilar jembatan.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pedoman bilamana model pilar menjadi pilihan alternatif di suatu lokasi sehingga meminimalisir terjadinya gerusan.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu sumber informasi untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada:

1. Penelitian ini dilakukan pada saluran bentuk penampang persegi.
2. Simulasi pola aliran menggunakan software *CFD*.
3. Model pilar yang digunakan berbentuk silinder yang tak bercelah.
4. Model collar yang digunakan terbuat dari bahan plastic
5. Variabel penelitian adalah variasi debit (Q), kecepatan (v), tinggi muka air (h), waktu pengaliran (T), jarak penempatan collar (x_c), diameter collar (D_c), bentuk pilar (K_p), lebar pilar (B_p).

1.6 Sungai

Sungai adalah torehan permukaan bumi yang merupakan penampung dan penyalur alamiah aliran air dan material yang dibawanya dari bagian hulu ke hilir, atau dari tempat tinggi ke tempat yang rendah kemudian bermuara ke laut. Sungai adalah badan air alamiah tempat mengalirnya air hujan dan air buangan menuju laut dan tempat bersemayamnya biotik dan abiotik. Tipe aliran saluran terbuka menurut (Triatmodjo, 2017) adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynolds $Re > 1.000$ dan laminar apabila $Re < 500$. Aliran melalui saluran terbuka dianggap seragam (uniform) apabila berbagai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan, dan debit pada setiap tampang saluran terbuka adalah konstan. Aliran melalui saluran terbuka disebut tidak seragam atau berubah (*non-uniform flow* atau *varied flow*), apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan. Apabila perubahan aliran terjadi pada jarak yang pendek maka disebut aliran berubah cepat, sedang apabila terjadi pada jarak yang panjang disebut aliran berubah tidak beraturan. Aliran disebut mantap apabila variabel aliran di suatu titik seperti kedalaman dan kecepatan tidak berubah terhadap waktu, dan apabila berubah terhadap waktu disebut aliran tidak mantap. Selain itu aliran melalui saluran terbuka juga dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis (mengalir) jika $Fr < 1$. Di antara kedua tipe tersebut aliran adalah kritis ($Fr=1$).

Kondisi aliran dalam saluran terbuka yang rumit berdasarkan kenyataan bahwa kedudukan permukaan yang bebas cenderung berubah sesuai waktu dan

ruang, dan juga bahwa kedalaman aliran, debit, kemiringan dasar saluran dan permukaan bebas adalah tergantung satu sama lain. Kondisi fisik saluran terbuka jauh lebih bervariasi dibandingkan dengan pipa. Kombinasi antara perubahan setiap parameter saluran akan mempengaruhi kecepatan yang terjadi. Disisi lain perubahan kecepatan tersebut akan menentukan keadaan dan sifat aliran. Hal ini lah yang ingin diketahui untuk menentukan pengaruh ketinggian terhadap kecepatan yang terjadi. Perilaku aliran dalam saluran yang peka erosi dipengaruhi oleh berbagai faktor fisik dan oleh keadaan lapang yang sangat kompleks dan tidak menentu sehingga memerlukan perancangan yang tepat untuk saluran semacam ini. Sungai sangat penting peranannya bagi kehidupan manusia. Kenyataan ini dapat dilihat dari pemanfaatan sungai yang makin lama makin kompleks, mulai dari sarana transportasi, sumber air baku, sumber tenaga listrik dan sebagainya. 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 dan sungai besar sampai ke muara sungai.

1.7 Pola Aliran

Kondisi aliran pada saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebas cenderung berubah sesuai dengan waktu dan ruang. Di samping itu ada hubungan ketergantungan antara kedalaman aliran, debit air, kemiringan, dasar saluran dan permukaan bebas. Pola aliran disekitar pilar pada aliran saluran terbuka cukup kompleks. Bertambahnya complexity disertai semakin luasnya lubang gerusan. Suatu studi mengenai bentuk/pola aliran yang telah dilanjutkan oleh Melville dalam (Wibowo, 2007) agar lebih mengerti mekanisme dan peran penting pola aliran hingga terbentuknya lubang gerusan. Pola aliran dibedakan dalam beberapa komponen:

- a. Punggung gelombang (*bow wave*)
- b. Arus bawah didepan pilar.
- c. Pusaran sepatu kuda (*horse shoes vortex*).
- d. Pusaran yang terangkat (*cast-off vortices*) dan menjalar (*wake*)

Pola aliran pada pilar yaitu terjadi aliran arah vertical kebawah yang membentuk vortek, dan aktif mengakibatkan gerusan. Besarnya pilar sangat menentukan besarnya vortek, yang berdampak pada 26 besarnya gerusan. Akan tetapi pengaruh besarnya pilar juga menjadikan penyempitan tampang saluran (*constriction*). Medan aliran disekitar abutmen umumnya mempunyai ciri-ciri yaitu percepatan aliran di hulu pilar, kemudian melemah didekat abutmen, atau terjadi perlambatan aliran, selanjutnya aliran dipisahkan oleh system vortek. Pada jarak yang cukup jauh dari abutmen, aliran seragam akan terbentuk kembali.

1.8 Karakteristik Aliran

Kondisi biofisik setiap saluran terbuka memiliki karakter yang berbeda yang mencerminkan tingkat kepekaan dan potensi suatu saluran. Pengumpulan data fisik dengan mencatat beberapa faktor yang dominan pada suatu wilayah akan mencerminkan karakteristik suatu saluran. Karakteristik aliran adalah gambaran spesifik mengenai aliran yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, dan manusia. Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran dalam saluran terbuka, dan dapat pula berupa aliran dalam pipa. Kedua jenis aliran tersebut memiliki prinsip yang sangat berbeda. Aliran melalui saluran terbuka adalah aliran yang memiliki permukaan bebas sehingga memiliki tekanan udara walaupun berada dalam saluran tertutup. Adapun aliran dalam pipa merupakan aliran yang tidak memiliki permukaan bebas, karena aliran air mengisi saluran secara terus menerus, sehingga tidak dipengaruhi oleh tekanan udara dan hanya dipengaruhi oleh tekanan hidrostatik. Karakteristik aliran terdiri dari:

1.8.1 Debit Aliran

Debit aliran merupakan hubungan perkalian antara kecepatan aliran dengan luas tampang basah saluran. Ven Te Chow (1989), dalam Sudiyono dkk (2014).

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Dimana:

Q = Debit aliran (m^3/det)

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/det)

A = Luas penampang aliran (m^2)

1.8.2 Tipe Aliran

Mengkaji suatu aliran pada saluran terbuka, haruslah dipahami tentang sifat dan jenis aliran itu sendiri. Adapun tipe aliran pada saluran terbuka yakni dipengaruhi oleh adanya suatu permukaan bebas yang berkaitan langsung dengan parameter-parameter aliran seperti kecepatan, kekentalan, gradient serta geometri saluran. Aliran saluran terbuka dapat digolongkan berdasarkan pada berbagai kriteria, salah satu kriteria utama adalah perubahan kedalaman aliran (h) terhadap waktu (t) dan terhadap tempat (s).

1.8.2.1 Tipe Aliran Berdasarkan Kriteria Waktu yaitu:

- 1) Aliran Tetap/mantap (*Steady Flow*) yaitu aliran di mana kedalaman air (h) tidak berubah menurut waktu atau dianggap tetap dalam suatu interval waktu, dengan demikian kecepatan aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu dan segala variabel disepanjang saluran sama.
- 2) Aliran tidak tetap/tidak mantap (*Unsteady Flow*) yaitu apabila kedalaman air (h) berubah menurut waktu demikian pula kecepatannya berubah menurut waktu. Aliran ini terbagi dua yaitu: Aliran seragam tidak tetap

(*unsteady uniform flow*) dan aliran tidak tetap dan berubah-ubah (*unsteady varied flow*). Aliran ini hampir tidak pernah terjadi.

- 3) Aliran Seragam (*uniform flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas, debit, konstan disepanjang saluran sama. Aliran tidak seragam (*un-uniform Flow*) yaitu aliran berubah-ubah (*varied flow*) disepanjang saluran terhadap kedalaman, luas, dan debit, Yang terdiri dari: Aliran tetap berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan Aliran tetap berubah dengan cepat (*rapidle varied flow*).

1.8.2.2 Tipe Aliran Berdasarkan Kriteria Tempat yaitu:

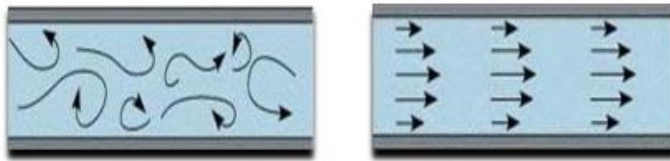
- 1) Aliran seragam (*uniform flow*) yaitu: aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas penampang, dan debit konstan disepanjang saluran sama. Aliran ini terbagi dua yaitu:
 - a) Aliran seragam tetap (*steady uniform flow*) yaitu aliran seragam yang tidak berubah terhadap waktu.
 - b) Aliran seragam tidak tetap (*unsteady uniform flow*) yaitu aliran yang dapat pula berubah terhadap waktu apabila fruktiasi muka air terjadi dari waktu ke waktu namun tetap paralel dengan dasar saluran.
- 2) Aliran Tidak seragam (*non-uniform flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas penampang, dan debit berubah di sepanjang saluran. Aliran ini disebut juga aliran berubah-ubah (*varied flow*) yaitu; Aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan Aliran berubah dengan cepat.

1.8.3 Sifat-sifat Aliran

Sifat-sifat aliran saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh adanya Pengaruh kekentalan (*viscositas*) dan pengaruh gravitasi dalam perbandingannya dengan gaya-gaya kelembaman (*inersia*) dari aliran. Tegangan permukaan sebenarnya juga dapat berpengaruh pada sifat-sifat aliran, namun dalam kebanyakan aliran tegangan permukaan tidak memegang peranan penting, oleh karena itu tidak diperhitungkan. Selanjutnya apabila perbandingan antara pengaruh gaya-gaya kelembapan dengan gaya-gaya kekentalan yang dipertimbangkan maka aliran dapat dibedakan menjadi: aliran laminar, dan aliran turbulen serta aliran transisi. Parameter yang dipakai sebagai dasar untuk membedakan sifat aliran tersebut adalah suatu parameter tidak berdimensi yang dikenal dengan angka Reynold (Re) yaitu: perbandingan (*ratio*) dari gaya kelembapan (*inersia*) terhadap gaya-gaya kekentalan (*viscositas*) persatuan volume. Sifat-sifat aliran berdasarkan pengaruh gaya kelembapan dengan gaya kekentalan menurut Reynolds dibedakan sebagai berikut (Triatmodjo, B. 2011):

- a) Aliran Laminar yaitu suatu aliran dimana gaya-gaya kekentalan relatif lebih besar dibanding dengan gaya kelembapan sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap sifat aliran. Pada aliran ini partikel cairan seolah-olah bergerak secara teratur menurut lintasan tertentu. Dengan nilai Reynolds lebih kecil lima ratus ($Re < 500$).

- b) Aliran Turbulen yaitu apabila kecepatan aliran lebih besar daripada kekentalan dalam hal ini butiran-butiran air bergerak menurut lintasan yang tidak teratur, tidak lancar, tidak tetap, walaupun butiran bergerak maju dalam kesatuan aliran secara keseluruhan. Dengan mempunyai nilai bilangan Reynolds lebih besar dari seribu ($Re > 1000$), aliran ini tidak mempunyai garis-garis arus yang halus dan sejajar sama sekali.
- c) Aliran Transisi yaitu Aliran peralihan dari laminar ke aliran turbulen dimana kekentalan relatif terhadap kecepatan. Aliran ini biasanya paling sulit diamati dan nilai bilangan Reynolds antara lima ratus sampai seribu ($500 \leq Re \leq 1000$).



Gambar 1 Aliran Turbulen dan Laminer

Pengaruh kekentalan terhadap kelembaban dapat dinyatakan dengan bilangan Reynold. Reynold menerapkan analisa dimensi pada hasil percobaannya dan menyimpulkan bahwa perubahan dari aliran laminar ke aliran turbulen terjadi suatu harga yang dikenal dengan angka Reynold (Re). Angka ini menyakatan perbandingan antara gaya-gaya kelembapan dengan gaya-gaya kekentalan yaitu:

$$Re = \frac{\bar{v}L}{\mu} \quad (2)$$

Dimana:

- Re = Angka Reynold
 $\bar{v}$ = Kecepatan rata-rata aliran (m/det)
 L = Dimensi Linear Karakteristik (m)
 μ = *Viscositas dinamis fluida* (m^2 /det)

Sifat-sifat aliran berdasarkan Perbandingan gaya kelembapan dengan gaya Gravitasi.

- a) Aliran superkritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan gelombangnya. Aliran bersifat superkritis apabila $Fr > 1$.
- b) Aliran kritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya sama besar dengan kecepatan gelombangnya. Aliran bersifat Kritis apabila $Fr = 1$.
- c) Aliran subkritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya lebih kecil dari pada kecepatan gelombangnya. Aliran bersifat subkritis apabila $Fr < 1$.

Parameter yang membedakan ketiga aliran tersebut adalah parameter yang tidak berdimensi yang dikenal dengan angka *Froude* (Fr) yaitu angka perbandingan antara gaya kelembapan dan gaya gravitasi, dirumuskan dengan:

$$Fr = \frac{\tilde{v}}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (3)$$

Dimana:

- Fr = Angka *Froude*
- $\tilde{v}$ = Kecepatan rata-rata aliran (m/det)
- h = Kedalaman aliran (m)
- g = Gaya Gravitasi (m/det²)

1.9 Kecepatan Aliran

Pengaruh pendekatan kecepatan aliran U adalah menggabungkan formula prediksi gerusan ke dalam bentuk bilangan *Froude* (Fr) atau kecepatan geser u^* . Bilangan *Froude* untuk kecepatan aliran disaluran normal mewakili pengaruh kecepatan aliran pada kedalaman maksimum gerusan. Kecepatan aliran dalam saluran terbuka biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik yang lain. Kecepatan aliran memiliki tiga komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun komponen arah vertikal dan lateral biasanya kecil dan dapat diabaikan. Sehingga hanya kecepatan aliran yang searah dengan arah aliran yang diperhitungkan (Yunarto dkk, 2021). Kecepatan aliran dalam saluran terbuka biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik yang lain. Kecepatan aliran memiliki tiga komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun komponen arah vertikal dan lateral biasanya kecil dan dapat diabaikan. Sehingga hanya kecepatan aliran yang searah dengan arah aliran yang diperhitungkan. Karakteristik aliran yang melewati hambatan sangatsusah dianalisis maka pendekatan empiris perlu diperhitungkan dengan menentukan pembagian kecepatan aliran pada daerah inner region dan outer region.

1.10 Validasi Data

1.10.1 Software Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational fluid dynamic merupakan sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait seperti reaksi kimia dengan menggunakan perhitungan computer berbasis simulasi (Versteeg dan Malalasekera, 2007:1). Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di tersebut. Versteeg dan Malalasekera (2007:2) dalam bukunya menyatakan ada beberapa keuntungan dari CFD berdasarkan pendekatan eksperimen untuk desain sistem fluida antara lain:

- e. Meminimumkan biaya dan waktu dalam mendesain suatu produk, jika proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.

- f. Mempunyai kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
- g. Mempunyai kemampuan untuk sistem studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
- h. Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu: Pre-Processor, Solver Manager, Post Processor. Sebuah pemahaman yang baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Pada dasarnya CFD mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) dirubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga).

1.10.2 ANSYS Fluent 17.2

ANSYS Fluent merupakan program computer untuk permodelan aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi kimia pada suatu geometri kompleks. Program yang menyediakan fleksibilitas mesh, termasuk kemampuan untuk menyelesaikan masalah aliran dibuat dari Bahasa pemrograman C. ANSYS Fluent dalam mode solution memiliki kapabilitas untuk melakukan simulasi diantaranya sebagai berikut (Ansys, 2017:4):

- a. 2D planar, 2D axisymmetric, 2D axisymmetric dengan swirl (*rotationally symmetric*), dan aliran 3D.
- b. Aliran pada quadrilateral, triangular, hexahedral (*brick*), tetrahedral, wedge, pyramid, polyhedral, dan elemen mesh campuran.
- c. Aliran steady atau transient.
- d. Aliran incompressible atau compressible, termasuk semua speed regimes (*low subsonic, transonic, supersonic, and hypersonic flows*)
- e. Aliran Inviscid, laminar, dan turbulen. 6. Aliran newtonian atau non-Newtonian.
- f. Udara ideal atau real.
- g. Perpindahan panas (*heat transfer*), termasuk konveksi paksa, alami, dan campuran, perpindahan panas gabungan (*solid/fluid*), dan radiasi.
- h. Free surface dan model dua fasa untuk aliran gas-liquid, gas-solid, dan liquid-solid.
- i. Perhitungan lagrangian trajectory untuk fase dispersi (*particles/droplets/bubbles*), termasuk coupling dengan permodelan fasa kontinyu dan permodelan spray.

Ketika menentukan fitur yang akan digunakan menyelesaikan masalah menggunakan ANSYS Fluent, prosedur dasar yang digunakan antara lain (Ansys, 2017:17):

- a. Menentukan permodelan
- b. Membuat model geometri dan mesh
- c. Mengatur model fisik dan penyelesaiannya

- d. Menghitung dan memantau solusi
- e. Memeriksa dan menyimpan hasil
- f. Mempertimbangkan revisi terhadap parameter model numerik atau fisik jika diperlukan.

Sebuah pendekatan numerik digunakan sebagai prosedur komputasi untuk mencari sebuah pendekatan terhadap solusi. Pendekatan ini mengungguli secara teoritis dan eksperimen pada beberapa aspek penting seperti keuniversalan, fleksibilitas, akurasi, dan biaya. (Zikanov, 2010). Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan dilibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut (Fadhili, 2016).

1.10.3 Proses Perhitungan CFD

1) Preprocessor

Preprocessor adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau boundary condition. Ditahap itu juga sebuah benda atau ruangan yang akan analisa dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu atau sering disebut juga dengan meshing. Langkah-langkah pengguna dalam tahap pre-processing yaitu:

- a) Definisi geometri region analisa dengan domain komputasional
- b) Pembuatan grid yaitu pemecahan domain menjadi beberapa sub domain yang lebih kecil dan tidak berlebihan
- c) Pemilihan fenomena fisik dan kimia yang perlu dimodelkan
- d) Definisi properties fluida
- e) Spesifikasikan kondisi batas yang sesuai pada sel-sel yang berhimpit dengan batas domain.

Solusi sebuah masalah fluida (kecepatan, tekanan, temperatur dsb) didefinisikan di setiap nodal di dalam masing-masing sel. Akurasi sebuah solusi CFD ditentukan oleh jumlah sel dalam grid. Secara umum, semakin banyak jumlah sel semakin baik akurasi solusi. Baik akurasi solusi dan kerja hardware computer serta lama kalkulasi tergantung kepada halusnyarapatnya grid. Kemampuan teknik self adaptive meshing telah membantu pengembangan CFD guna otomatisasi penghalusan grid untuk area dengan variasi yang padat. Pre-prosesor hingga saat ini juga membantu kita mengakses data library properties fluida umum dan fasilitas memasukkan model proses fisikal dan kimikal (model turbulence, perpindahan kalor radiatif, pembakaran) bersama persamaan aliran fluida utama.

2) Processor

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit.

3) Postprocessor

Tahap akhir merupakan tahap postprocessor dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu. Hasil penghitungan modul solver berupa nilai-nilai numerik (angka-angka) variabel-variabel dasar aliran seperti komponen-komponen kecepatan, tekanan, temperatur dan fraksi-fraksi masa. Dalam tahap post-processor nilai-nilai numerik ini diolah agar pengguna dapat dengan mudah membaca dan menganalisis hasil-hasil penghitungan CFD. Hasil- hasil ini dapat disajikan dalam bentuk grafis-grafis ataupun kontur-kontur distribusi parameter-parameter aliran fluida (Fadhili, 2016).

Seiring dengan perkembangannya, metode CFD mampu menangani berbagai macam kasus aliran fluida, mulai dari aliran incompressible seperti aliran pada sekitar mobil balap, aliran compressible seperti aliran pada sekitar jet supersonic, hingga aliran-aliran yang cukup kompleks seperti pembakaran, multifasa, interaksi dengan partikel dan lain sebagainya. Sebuah pendekatan numeric digunakan sebagai prosedur komputasi untuk mencari sebuah pendekatan terhadap solusi. Pendekatan ini mengungguli secara teoritis dan eksperimen pada beberapa aspek penting seperti keuniversalan, fleksibilitas, akurasi, dan biaya. (Zikanov, 2010)

Saat fluida bergerak melalui elemen tersebut, persamaan dapat disajikan dalam bentuk diferensial;

Persamaan kontinuitas membutuhkan konservasi massa:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_i) = 0 \quad (4)$$

Persamaan *Navier-Stokes* diturunkan dari hukum Newton kedua:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) \\ &= -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(2\mu S_{ij} - \frac{2}{3}\mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) + \rho f_i \end{aligned} \quad (5)$$

Dimana S_{ij} merupakan laju regangan tensor dan δ_{ij} merupakan *Kronecker delta-tensor*. Persamaan energi hanya dibutuhkan jika aliran merupakan kompressibel atau dengan kondisi konduksi termal, dimana dalam hal ini tidak masuk penelitian. ANSYS Fluent menggunakan teknik finite volume dengan mendiskretisasi (discretizing) dan menyelesaikan persamaan yang diberikan dalam setiap elemen fluida. Hal ini merupakan Teknik control-volume-based yang

terdiri dari mengintegrasikan persamaan transport tentang setiap kontrol volume. Dimulai dengan persamaan transport dalam bentuk integral (ANSYS, 2017):

$$\int_V \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} dV + \oint \rho\phi \vec{v} \cdot d\vec{A} = \oint \Gamma_\phi \nabla\phi \cdot d\vec{A} + \int_V S_\phi dV \quad (6)$$

Integral volume lalu dideskritesasi dengan elemen dan diakumulasi ke kontrol volume ke bagian yang diinginkan. Integral permukaan dideskritesasi pada poin integral yang berlokasi pada pusat setiap segmen permukaan dengan elemen dan lalu didistribusikan ke kontrol volume yang berdekatan:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} V + \sum_f^{N \text{ faces}} (\rho_f \phi_f \vec{v}_s) \cdot \vec{A}_f = \sum_f^{N \text{ faces}} \Gamma_\phi \nabla\phi_f \cdot A_f + S_\phi V \quad (7)$$

Dengan f sebagai nilai volume control (ANSYS, 2017). Dengan beberapa penyesuaian, persamaan (6) dapat digunakan untuk setiap kontrol volume pada domain yang diberikan. Hasilnya akan berupa persamaan aljabar yang dapat dipecahkan menggunakan metode iterasi, seperti gradient konjugasi, *multigrid*, dan lainnya.

1.11 Validasi Model Simulasi

Validasi data didefinisikan sebagai memastikan bahwa data yang diperlukan untuk melakukan pengujian model untuk memecahkan masalah sudah benar (Sargent, 2013). Salah satu kriteria yang digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan setelah diperoleh suatu model simulasi terhadap hasil data di lapangan adalah persamaan Root Mean Square Error (RMSE). Persamaan RMSE merupakan persamaan berdasarkan pada kesalahan hasil model yang dibuat. Kesalahan (error) yang ada menunjukkan seberapa besar perbedaan hasil model dengan nilai yang sebenarnya di lapangan. Semakin kecil nilai RMSE semakin bagus tingkat kebenaran data simulasi tersebut (Rinaldi Munir, 2010). Persamaan RMSE dapat ditulis sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_i^N [x_i - y_i]^2} \quad (8)$$

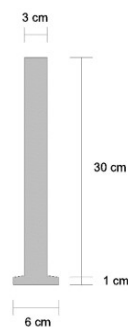
Dimana:

RMSE	= Root Mean Square Error
N	= Jumlah Sampel
x_i	= Kecepatan arus hasil simulasi (m)
y_i	= Kecepatan arus pengukuran lapangan (m)

1.12 Pilar Jembatan

Pilar merupakan bagian struktur bawah jembatan yang terletak di tengah sungai atau yang lain dan bertumpu di atas pondasi tiang pancang untuk memikul seluruh beban dari struktur atas jembatan dan beban lain yang disebabkan oleh tekanan tanah. (Ardianto, 2020) Menurut Mukti (2016) mendefinisikan pilar suatu

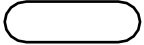
bangunan bawah yang terletak di tengah-tengah bentang antara dua buah abutment yang berfungsi juga untuk memikul beban-beban bangunan atas dan bangunan lainnya dan meneruskannya ke pondasi serta disebarkan ke tanah dasar yang keras. Pilar merupakan bagian struktur jembatan yang sangat penting, dimana pilar berfungsi menahan beban bangunan yang ada di atasnya. Jika pilar jembatan dibangun di aliran sungai maka kestabilan pilar harus diperhatikan. Karena pilar akan merubah pola aliran sungai dan karakteristik serta akan mengakibatkan perubahan morfologi disekitar pilar. Perubahan ini terjadi karena adanya bagian aliran yang ditahan oleh pilar. Adanya pilar tersebut menyebabkan perubahan pola dan karakteristik aliran seperti kecepatan aliran dan turbulensi, sehingga menimbulkan perubahan transpor sedimen dan terjadinya gerusan.



Gambar 2 Model Pilar

Tabel 1 Koefisien Faktor Bentuk Pilar

Bentuk Pilar	b $/l$	b' $/l'$	K_s	Gambar Bentuk Pilar
Silinder			1.0	
Persegi (Rectangula)	1:1 1:5	1.22 0.99		
Persegi dengan ujung setengah lingkaran (<i>rectangular with semi circular nose</i>)	1:3			
Ujung setengah lingkaran dengan bentuk belakang lancip (<i>semi circular nose with wedge shape tail</i>)	1:5	0.86		

Bentuk Pilar	b $/l$	b' $/l'$	K_s	Gambar Bentuk Pilar
Persegi dengan sisi depan miring (<i>rectangular with wedge shape nose</i>)	1:3	1:2	0.76	
		1:4	0.65	
Elips (<i>Elliptic</i>)	1:2		0.83	
	1:3		0.80	
	1:5		0.61	
Lenticular	1:2		0.80	
	1:3		0.70	
Aerofil	1:3.5		0.80	

(Breuser dan Raudkivi,1991)

Bentuk pilar akan sangat berpengaruh pada pola dan karakteristik aliran, pilar jembatan yang tidak bulat akan memberikan sudut yang lebih tajam terhadap aliran datang yang diharapkan dapat mengurangi kerusakan pada pilar ataupun perubahan morfologi sungai. Hal ini juga tergantung pada panjang dan lebar (l/b) masing-masing bentuk mempunyai koefisien faktor bentuk K_s . Pilar jembatan berfungsi untuk menahan atau memikul beban yang bekerja pada jembatan. Mengingat bahwa letak pilar berada pada aliran air sungai, maka dasar sungai di sekitar pilar memiliki potensi mengalami gerusan lokal. Umumnya pilar jembatan dipengaruhi oleh aliran sungai, sehingga dalam perencanaan perlu diperhatikan dari segi kekuatan dan keamanan dari bahan-bahan hanyutan dan aliran sungai itu sendiri, maka bentuk dan penempatan pilar tidak boleh menghalangi aliran air terutama pada saat banjir.

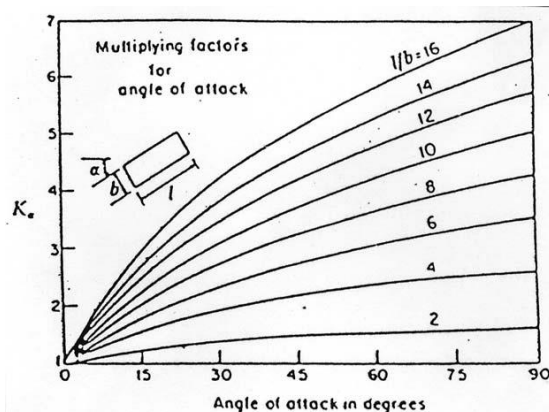
Hal-hal yang menjadi pertimbangan dalam menggunakan pilar pada suatu konstruksi jembatan (Sanjaya, 2017) antara lain ditinjau dari:

- 1) Bentang jembatan yang akan direncanakan
- 2) Kedalaman sungai atau perilaku sungai
- 3) Elemen struktur yang akan digunakan

Pilar jembatan memiliki berbagai macam bentuk seperti ellips, lenticular, maupun bulat yang dapat memberi pengaruh terhadap pola aliran dan karakteristik aliran. Pola gerusan yang terjadi akan menjadi sangat kompleks dan sukar untuk ditaksir perilaku hiprodinamikanya, terutama pola aliran di hulu dan hilir pilar. Bentuk pilar akan berpengaruh pada kedalaman gerusan lokal, pilar jembatan yang tidak bulat akan memberikan sudut yang lebih tajam terhadap aliran datang yang diharapkan dapat mengurangi gaya pusaran tapal kuda sehingga dapat mengurangi besarnya kedalaman gerusan. Bentuk dan ukuran

pilar mempengaruhi waktu yang diperlukan bagi gerusan lokal pada kondisi clear-water sampai kedalaman terakhir, tidak dengan jarak relatif (y_s/b), jika pengaruh dari kedalaman relatif (y_0/b) dan butiran relatif (b/d_{50}) pada kedalaman gerusan ditiadakan, maka nilai aktual dari (y_s/b) juga tergantung pada peningkatan dari bed material. Kedalaman gerusan lokal juga dipengaruhi atau tergantung pada posisi pilar terhadap arah aliran yang terjadi serta panjang dan lebarnya pilar. Karena kedalaman gerusan merupakan rasio dari panjang dan lebar serta sudut dari tinjauan terhadap arah aliran. Koefisien sudut datang aliran karena posisi pilar digunakan pada beberapa bentuk tertentu. Hanya bentuk silinder yang tidak menggunakan koefisien sudut datang (Laursen dan toch (1956) dalam Wibowo, 2017).

Menurut, Dietz (1972) dan Neil (1973) dalam Wibowo (2017) terhadap pengaruh bentuk pilar tampak horisontal cross section, mereka menegaskan dan merekomendasikan nilai faktor bentuk pilar (K_s). Laursen dan Touch (1956), mempelajari ini pada pilar rectangular horizontal cross section dengan memberikan sudut kemiringan terhadap aliran. Bila sudut terjang aliran terhadap pilar 00 maka $K_\alpha = 1,3-1,8$.

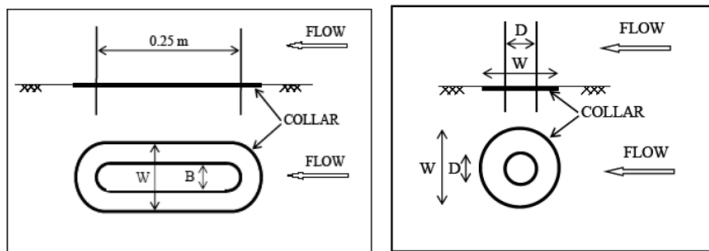


Gambar 3 Koefisien arah sudut aliran (K_α) pada pilar (Breuser dan Raudkivi, 1991)

1.13 Penerapan Plat (Collar) sebagai Penanggulungan Gerusan Lokal di Pilar Jembatan

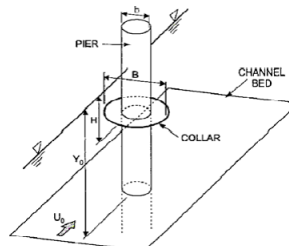
Bagian ini memberikan tinjauan rinci tentang penerapan collar untuk mengurangi gerusan lokal pada pilar jembatan. *Collar* sebagai perangkat yang dipasang pada pilar pada tingkat tertentu yang biasanya dekat dengan bed. *collar* berbentuk piringan pelindung tipis (Melville dan Coleman, 2000). Cakram pelindung memiliki permukaan yang ketebalannya dapat diabaikan, dan tidak mampu meningkatkan perkembangan gerusan (Fotherby dan Jones, 1993). *Collar* tidak boleh terlalu tebal sehingga menyebabkan penyumbatan aliran dan menyebabkan gerusan (Whitehouse, 1998). *Collar* memanjang di sekitar tepi luar

pilar dengan tujuan utama melindungi dasar dari efek gerusan aliran ke bawah di pilar dan aksi pusaran terkait di sekitar dasar pilar. Contoh tipikal *collar* yang di pasang pada pilar persegi panjang dan silinder ditunjukkan pada gambar 10. Konsep di balik *collar* sebagai penanggulangan adalah bahwa kehadiran perangkat akan cukup menghambat dan membelokkan mekanisme gerusan lokal sehingga gerusan berkurang. *Collar* memiliki banyak nama berbeda dalam literatur. Beberapa nama adalah pelat datar, perisai horizontal dan piringan pelindung.



Gambar 4 Penempatan *Collar* di sekitar Pilar berbentuk *lenticular* dan silinder (Mashahir dkk. 2004)

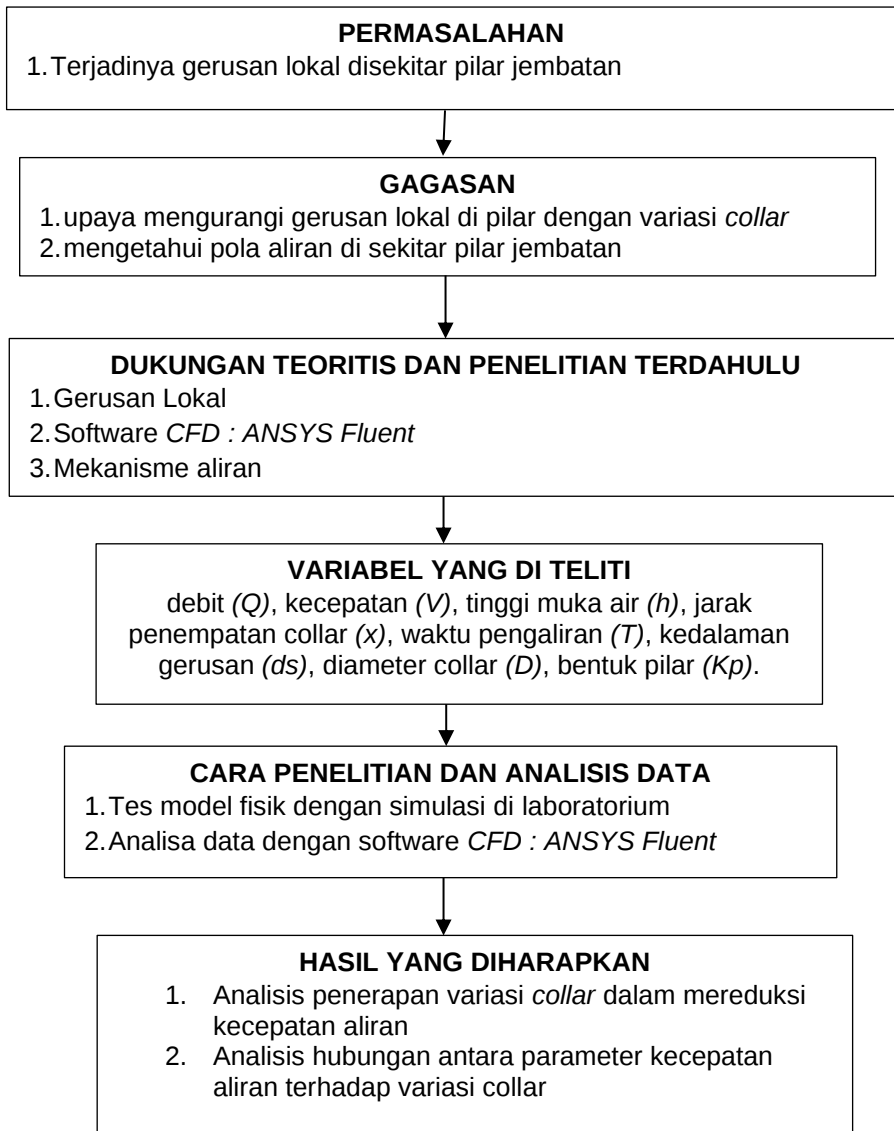
Gambar 11 menunjukkan susunan collar pada pilar yang digunakan dalam percobaan mereka. Telah diamati bahwa lebar *collar* serta posisi relatif *collar* pada *bed* mempengaruhi kedalaman dan lokasi gerusan maksimum. Juga diamati bahwa *collar* kecil mengakibatkan lubang gerusan besar di di bagian hulu pilar, sementara kedalaman gerusan paling besar di daerah hilir untuk *collar* yang lebih besar.



Gambar 5 Pemasangan *collar* pada pilar di atas dasar saluran (Kumar dkk, 1999)

Filosofi yang menjadi dasar perangkat seperti collar adalah bahwa keberadaannya akan cukup mencegah dan membelokkan mekanisme gerusan lokal dengan efek keseluruhan mengurangi kedalaman gerusan. Berdasarkan hal tersebut, penggunaan *collar* adalah metode yang efektif untuk mengurangi gerusan lokal di pilar jembatan.

1.14 Kerangka Pikir



Gambar 6 Kerangka pikir penelitian

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin.



(Sumber: Google Earth)

Gambar 7 Lokasi Penelitian

2.2 Variabel Yang di Teliti

Menurut Sugiyono (2009) variabel penelitian pada dasarnya adalah sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya. Menurut Subiyakto Haryono (1994) parameter adalah data yang harus dicari dalam penelitian dengan melakukan pengambilan data. Parameter populasi adalah ukuran – ukuran tertentu yang digunakan sebagai penggambaran suatu populasi. Sesuai dengan tujuan penelitian dan untuk membuktikan hipotesa yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya, konsep Aliran yang datang dan membentur struktur pilar jembatan maka interaksi aliran dan struktur membentuk aliran kebawah (*down flow*) dan busur ombak (*bow wave*) yang disebut sebagai gulungan permukaan (*surface roller*) mengakibatkan terangkatnya sedimen sehingga terjadi gerusan. Berdasarkan tinjauan pustaka, parameter yang berpengaruh adalah debit (Q), kecepatan (v), tinggi muka air (h), jarak penempatan *collar* (x_c), waktu pengaliran (T), diameter *collar* (D_c), bentuk pilar (K_p), lebar pilar (B).

2.3 Perencanaan Saluran dan Model

Penentuan skala geometri disesuaikan dengan kemampuan dan kapasitas *flume* di laboratorium yang dibandingkan dengan ukuran *prototipe* di lapangan. Pada penelitian ini digunakan model distorsi (*distorted models*), dimana skala

panjang tidak sama dengan skala tinggi, Referensi sungai pada penelitian ini adalah sungai palu, dengan lebar sungai rata-rata 110 m, maka ditentukan perbandingan skala 1:366 maka diperoleh lebar di *flume* 30 cm. Kedalaman air disesuaikan dengan kapasitas pompa dengan kondisi lapangan maksimum 3 m, dengan diambil skala 1:20 maka kedalaman yang dioperasikan didalam *flume* yaitu 15 cm.

Perencanaan dimensi saluran dan model sebagai berikut:

Tabel 2 Dimensi saluran dan pilar

Kuantitas fisik	Skala	<i>prototippe</i> (cm)	laboratorium (cm)
A saluran			
1 lebar	366	11.000,00	40,00
2 kedalaman aliran	20	300,00	15,00
3 kecepatan	4,47	0,87	3,87
4 debit	24,60	57,16	2.32
B struktur pilar			
1 tinggi	40	1200,00	30,00
2 diameter pilar	50	300,00	6,00
3 diameter collar	56	500,00	9,00

2.4 Rancangan Penelitian

2.4.1 Persiapan peralatan

2.4.1.1 Saluran Sirkulasi (*Recirculating flume*)

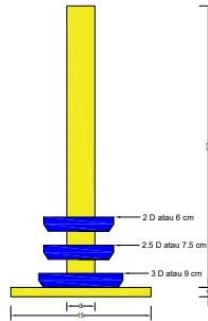
Penelitian kecepatan aliran dilakukan pada saluran *recirculating flume* yang direncanakan berukuran Panjang 9,00 m, lebar 0,30 m dan tinggi 0,40 m dapat dilihat pada gambar 8. Dioperasikan melalui indikator operational yang terdiri dari kontrol debit aliran, kran pembuka, kemiringan dasar saluran dan pintu di bagian hilir. Pintu berfungsi untuk mengontrol kedalaman aliran yang diinginkan.



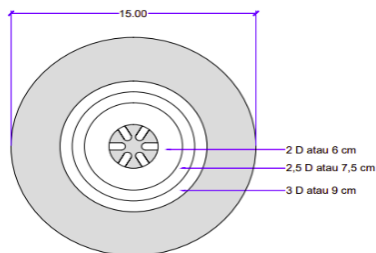
Gambar 8 *Recirculating flume* yang digunakan untuk uji model

2.4.1.2 Kombinasi Model Pilar dan Collar

Model pilar yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari plastic padat yang dibentuk sesuai model. Penelitian ini menggunakan pilar model silinder dengan ketinggian 30 cm dan dengan diameter atas 3 cm. Untuk model *collar* yang digunakan bahan dari akrilik dengan diameter masing masing *collar* ($2 D$, $2,5 D$ dan $3,0 D$) dengan D adalah diameter pilar. Pada bagian ujung collar dibuat sudut 45° . Untuk penempatan posisi *collar* pada saat percobaan yaitu $1/3 H_m$, $2/3 H_m$ dan pada dasar sedimen dengan H_m adalah pilar miring.



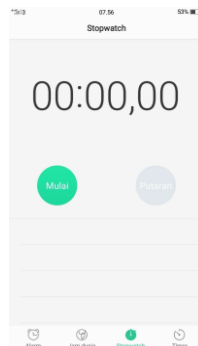
Gambar 9 Tampak Model



Gambar 10 Tampak atas Model *collar*

2.4.1.3 Stop watch

Untuk menentukan waktu tiap satuan waktu yang ditentukan dalam rangka pengambilan data kedalaman gerusan.



Gambar 11 Stopwatch

2.4.1.4 Model Pilar



Gambar 12 Model Pilar

2.4.1.5 *Portable Velocity Meter* LS-100

Digunakan untuk mengukur kecepatan aliran dalam saluran.



Gambar 13 *Portable Velocity Meter* LS-100

2.4.1.6 *Point gauge*

Alat ini digunakan untuk mengukur kedalaman aliran dan kedalaman gerusan yang terjadi dengan ujung runcing *point gauge* yang diturunkan hingga kedalaman yang sudah terbentuk oleh aliran.



Gambar 14 *Point gauge*

2.4.1.7 Kamera

Alat ini digunakan pengambilan data serta dokumentasi selama percobaan berlangsung



Gambar 15 Kamera

2.4.1.8 Meteran, penggaris, busur dan skala

Alat ini untuk mengukur tinggi material dasar dan kedalaman aliran di sepanjang *flume*.

2.4.2 Karakteristik aliran

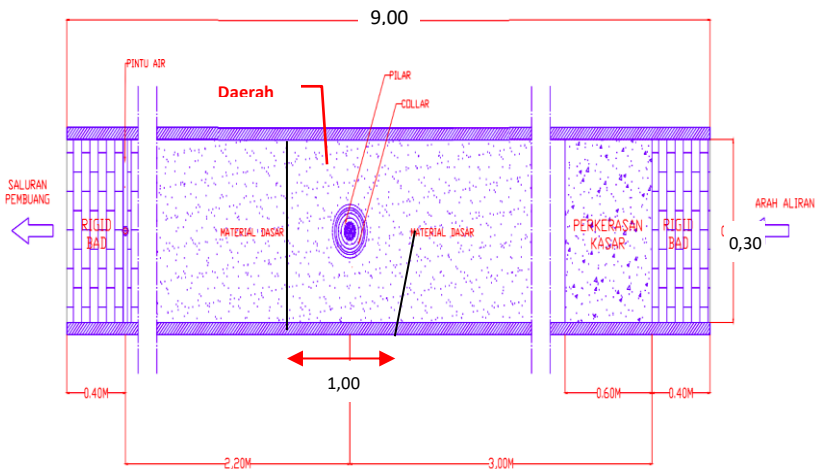
Jenis aliran yang digunakan pada penelitian ini adalah kondisi aliran yang terus mengalir per debit. Di asumsikan tinggi muka air efektif di dalam *flume* adalah 40 cm. Air yang digunakan adalah air yang tersedia di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin.

2.4.3 Percobaan pendahuluan

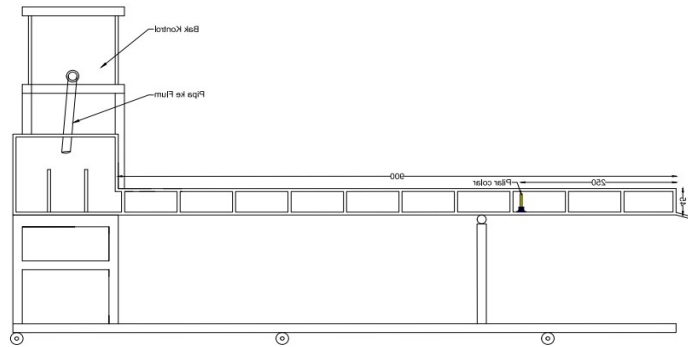
Percobaan pendahuluan dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas debit maksimum yang mampu di berikan oleh pompa. Dengan diketahui debit maksimum, sehingga dapat menentukan debit yang akan digunakan.

2.4.4 Pelaksanan penelitian

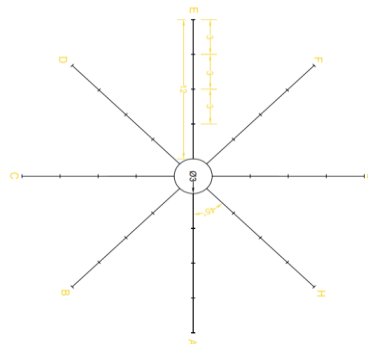
Pada pelaksanaan penelitian direncanakan dengan menggunakan model pilar silinder dan *collar* dengan variasi model penempatan.



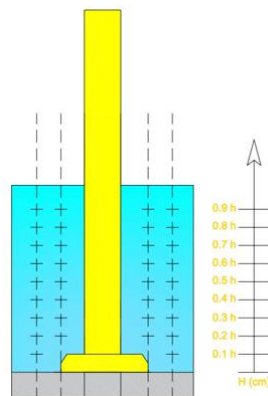
Gambar 16 Tampak atas penempatan model *Collar* dan pilar jembatan



Gambar 17 Tampak samping posisi penempatan model *Collar* dan pilar jembatan



Gambar 18 Tampak atas posisi pengambilan kecepatan di sekitar pilar

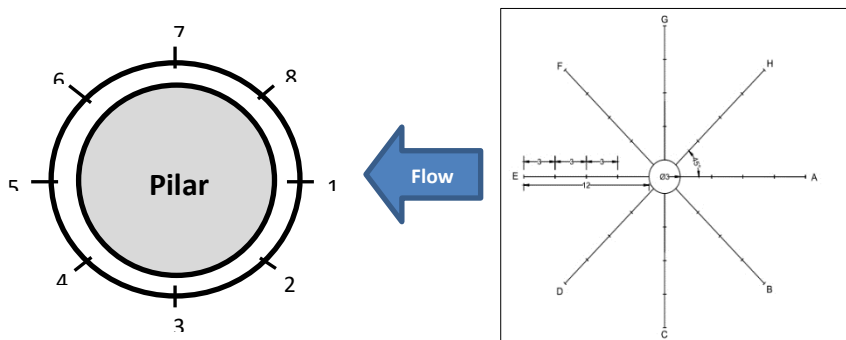


Gambar 19 Titik pengukuran

2.4.5 Langkah-langkah pelaksanaan penelitian

- 1) Model pilar yang telah terpasang collar pada sekelilingnya diletakkan di tengah saluran dengan jarak 3,0 m dari hulu.

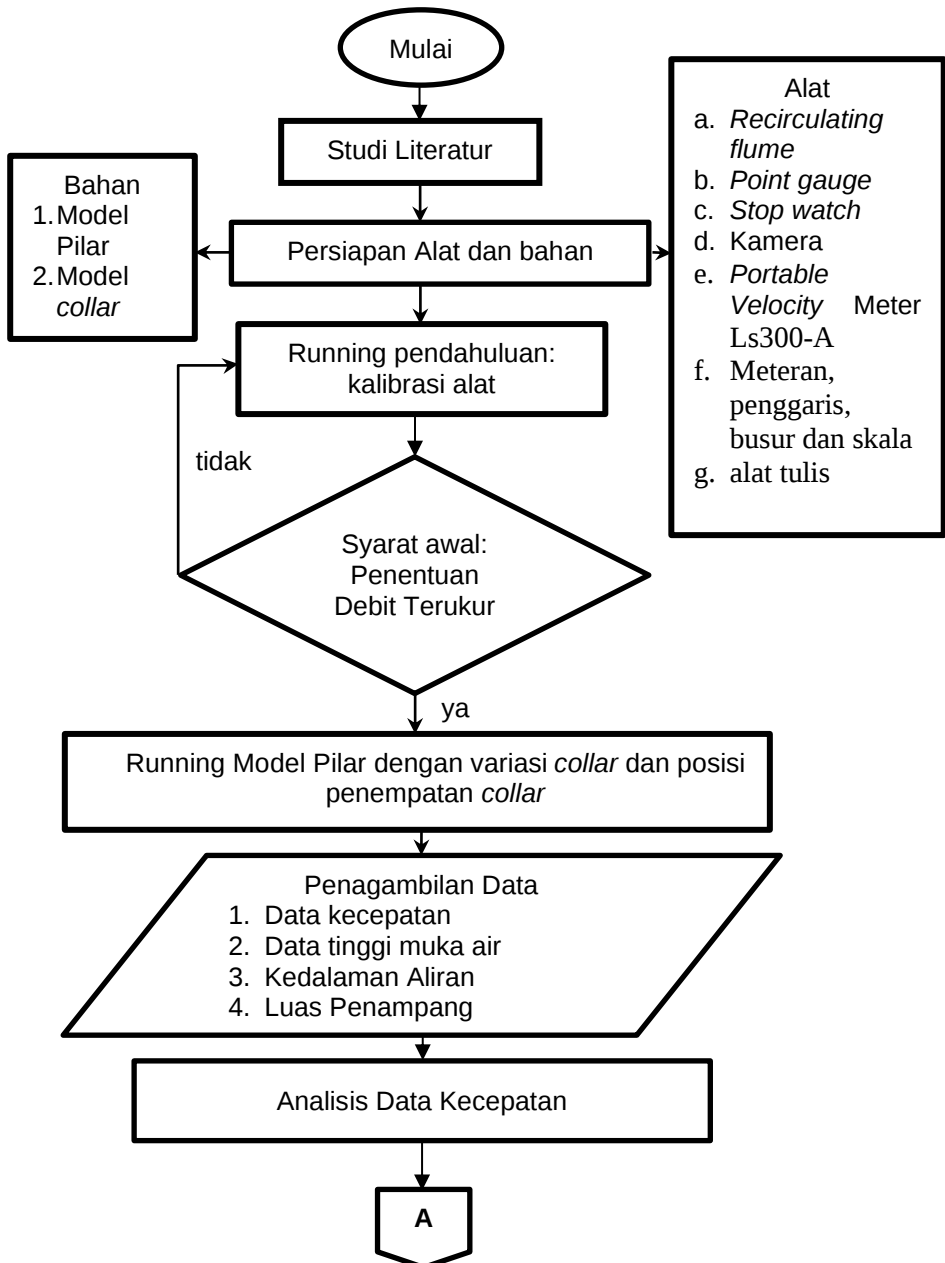
2. Pengambilan data kecepatan dengan menggunakan alat ukur kecepatan aliran yaitu Portable Velocity Meter Ls300-A dilakukan disekitar pilar. Dimana titik pengukuran di bagi menjadi 32 titik yang berbeda pada 9 kedalaman yaitu pada 0.1h, 0.2h, 0.3h, 0.4h, 0.5h, 0.6h, 0.7h, 0.8h, dan 0.9h.
3. Lakukan pengukuran secara berulang dengan variasi collar dan debit yang berbeda.

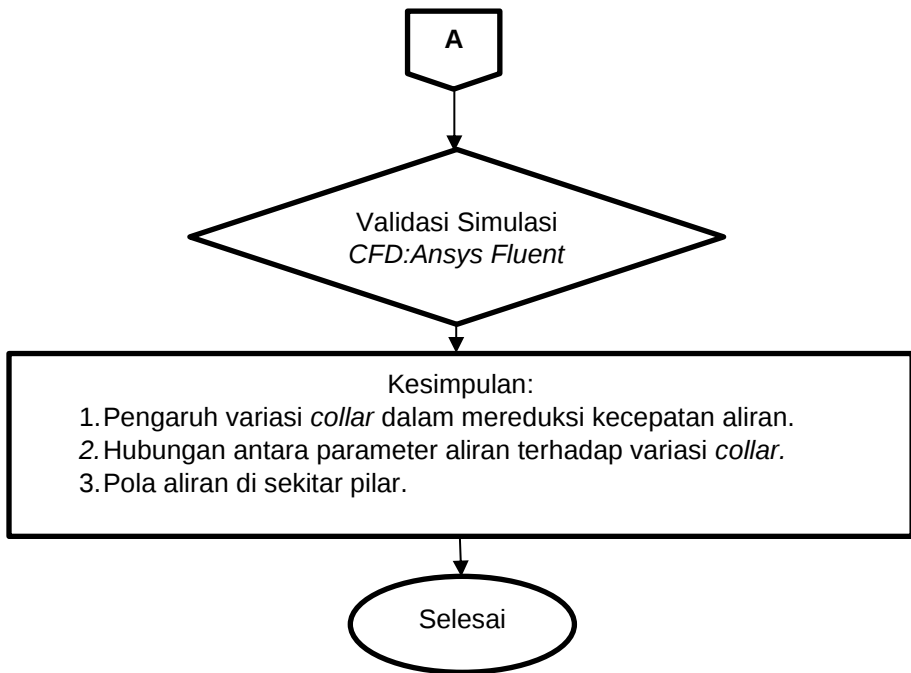


Gambar 20 Letak titik pengukuran kecepatan pada sekitar pilar

2.5 Bagan Alir Penelitian

Untuk mempermudah dalam pelaksanaan penelitian dibuat alur penelitian. Secara lengkap bagan alir penelitian akan dikaji penggunaan kombinasi model geometrik pada pilar dengan memasang *collar* pada pilar.





Gambar 21 Bagan alir (*flow chart*) penelitian