

SKRIPSI

PENGARUH VARIASI KEMIRINGAN MERCU *GROUND*SIL TYPE DATAR TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada
jurusan Teknik Sipil



Di susun oleh :

AYU HASHARI

D0121341

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT
2025**

**PENGARUH VARIASI KEMIRINGAN MERCU *GROUND*SIL TIPE
DATAR TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN.**

SKRIPSI

Oleh

AYU HASHARI

NIM : D0121341

(Sarjana Jurusan Teknik Sipil)

Universitas Sulawesi Barat

Skrripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh
gelar sarjana teknik

Tanggal 18 September 2025

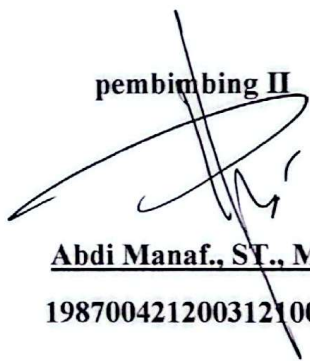
Mengetahui,

Pembimbing I


Dr. Ir Imam Rohani, S.T., MT

19810701202421007

pembimbing II


Abdi Manaf., ST., MT

1987004212003121009

Kordinator program studi


Amalia Nurdin, ST., M.T

1987121220231932017

Dekan Fakultas Teknik


Prof. Dr Ir. Hafsah Nirwana, M.T

DEKAN 196404051990032002

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan memperoleh gelar keserjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau di terbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Majene, 18 september 2025



Ayu hashari

D0121341

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KEMIRINGAN MERCU *GROUND*SIL TIPE DATAR TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN

AYU HASHARI

Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Sulawesi Barat (2025)

Groundsil adalah bangunan ambang yang didirikan secara melintang disungai yang dapat digunakan untuk mengurangi kecepatan aliran sungai pada bagian hulu bangunan. Selain itu *groundsil* dapat menjadi penghalang pergerakan sedimen yang mengendap pada bagian hulu *groundsil*, metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorium dengan menggunakan model fisik *groundsil* tipe datar dalam saluran uji laboratorium, karakteristik aliran seperti kecepatan, dan tinggi muka air. hasil dari penelitian menunjukkan bahwa tanpa *groundsil* kecepatan aliran berkisar 0,817-1,362 m/s dengan bilangan Froude 0,34-0,49(subkritis) dan bilangan Reynolds 436- 1.260 (transisi-turbulen). Setelah penggunaan *groundsil*, kecepatan menurun signifikan pada kemiringan 13° menjadi 0,27-1,09 m/s dengan Reynol 43,14-497,95 (laminar- taransisi) pada kemiringan 16° mencapai 0,41 – 1,63 m/s dengan Reynolds 73,61- 726,68(transisi – turbulen), dan pada 25o berkisar 0,14 -1,36 m/s dengan Reynolds 18,52 -952,24 (laminar hingga transisi). Kondisis ini tetap menjaga bilangan Reynolds sehingga aliran lebih stabil

ABSTRAK

The Effect of Crest Slope Variations of Flat-Type Groundsill on Flow Characteristics

AYU HASHARI

Civil Engineering, Faculty of Engineering

University of West Sulawesi (2025)

A groundsill is a transverse structure built across a river that can be used to reduce flow velocity in the upstream section. In addition, a groundsill can act as a barrier to sediment movement that settles upstream of the structure. The research method employed was an experimental laboratory method using a physical model of a flat-type groundsill in a laboratory flume, focusing on flow characteristics such as velocity and water surface elevation. The results of the study show that without a groundsill, flow velocity ranged from 0.817–1.362 m/s with a Froude number of 0.34–0.49 (subcritical) and a Reynolds number of 436–1,260 (transitional–turbulent). After applying the groundsill, flow velocity significantly decreased: at a 13° slope, it ranged from 0.27–1.09 m/s with Reynolds numbers of 43.14–497.95 (laminar–transitional); at a 16° slope, it reached 0.41–1.63 m/s with Reynolds numbers of 73.61–726.68 (transitional–turbulent); and at a 25° slope, it ranged from 0.14–1.36 m/s with Reynolds numbers of 18.52–952.24 (laminar to transitional). These conditions consistently maintained the Reynolds number within a stable range, thereby ensuring more controlled flow behavior.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konstruksi bangunan air di sungai merupakan upaya untuk meningkatkan faktor yang menguntungkan dan meminimalkan dampak yang merugikan akibat tidak terkontrolnya aliran sungai. bangunan persungai bermanfaat membantu kelangsungan hidup manusia dan meningkatkan rasa aman dalam kehidupan. (Galib Ishak et al., 2020) bangunan persungai utama adalah, waduk . Bendungan, Stasiun Pompa, dan Bangunan *Groundsil*

Groundsi merupakan salah satu struktur pengendalian yang berfungsi untuk menstabilkan dasar sungai dengan mencegah erosi berlebihan dibagian hilir bangunan. Variasi kemiringan *groundsil* khususnya pada tipe datar, memberikan pengaruh signifikan terhadap pola aliran baik dari segi kecepatan, pola distribusi energi. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai pengaruh kemiringan *groundsil* sangat penting dalam proses perencanaan dan perancangan *groundsil* guna meminimalkan resiko kerusakan struktur maupun dampak lingkungan. (Pangestu & Astuti, 2018).

Groundsil umumnya dibangun dekat dengan dasar sungai untuk menaikkan elevasi dasar sungai dari kondisi sebelumnya. Bagian atas *groundsil* disebut mercu yang berfungsi sebagai tempat aliran melimpas. Menurut (Sulistya et al., n.d.), *groundsil* dibedakan menjadi dua tipe, yaitu *groundsil* tipe datar (*bed gindle work*) dan *groundsil* tipe ambang pelimpah (*head work*). *Groundsil* tipe ambang datar memiliki elevasi mercu yang hampir sama dengan dasar sungai untuk menjaga agar dasar sungai tidak mengalami penurunan, sedangkan *groundsil* tipe ambang pelimpah memiliki terjunan untuk memperlambat kemiringan dasar sungai pada bagian hilir.

Peneliti (Liu et al., 2020) mengungkapkan bahwa perubahan kemiringan pada permukaan atau struktur sungai memberikan pengaruh yang nyata terhadap pola aliran dan karakteristik turbulensi. Peningkatan kemiringan mengakibatkan proses *reattachment* aliran menjadi lebih sulit terjadi, sehingga pola turbulensi

yang terbentuk semakin kompleks. Kondisi tersebut pada akhirnya berdampak terhadap distribusi kecepatan maupun energi aliran. selain itu, interaksi antara aliran dan *groundsil* dapat menimbulkan fenomena berupa loncatan hidraulik, perubahan kecepatan muka aliran, serta pengendapan sedimen di hulu *groundsil*. keseluruhan fenomena tersebut dipengaruhi oleh variasi geometri dan kemiringan *groundsil*. (Jan et al., 2025).

Penelitian eksperimental dan numerik pada *groundsil* menunjukkan bahwa bilangan Froude dan Reynolds berperan penting dalam menentukan karakteristik aliran serta kestabilan struktur. Variasi kemiringan *groundsil* mempengaruhi distribusi tekanan dan kecepatan aliran yang berdampak pada kedalaman dan panjang gerusan dihilir (Hairani & Legono, 2016). Bilangan *Froude* digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran melalui perbandingan kecepatan dengan percepatan gravitasi. sedangkan Bilangan Reynolds, digunakan untuk membedakan sifat aliran laminar dan turbulen. Pada saluran terbuka, aliran umumnya cenderung turbulen akibat kecepatan aliran dan kekesaran dinding yang relatif tinggi (Rohani, 2023)

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka penulis melakukan penelitian di laboratorium Teknik Sipil Universitas Sulawesi Barat untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi kemiringan mercu *groundsil* dapat mempengaruhi karakteristik aliran, pada penelitian ini, penulis mengangkat judul, “**PENGARUH VARIASI KEMIRINGAN MERCU *GROUND SIL* TIPE DATAR TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN**

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang terdapat dalam latar belakang dan latar belakang penulisan sebelumnya, maka masalah yang di rumuskan antara lain sebagai berikut:

- a. Seberapa besar pengaruh variasi kemiringan mercu *groundsil* tipe datar terhadap kecepatan aliran aliran?
- b. Bagaimanakah perubahan karakteristik aliran sebelum dan setelah melewati kemiringan mercu *groundsil*

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi Seberapa besar pengaruh variasi kemiringan *groundsil* tipe datar terhadap kecepatan aliran.
- b. Mengidentifikasi perubahan karakteristik aliran sebelum dan setelah melewati kemiringan mercu *groundsil*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian dilakukan di laboratorium dengan model fisik *groundsil* yang dibuat dalam *flume* dengan kondisi terkontrol.
- b. Variabel utama yang di analisis meliputi perubahan pola aliran akibat variasi kemiringan mercu *groundsil*.

1.4 Manfaat Penelitian

- a. Mengetahui seberapa besar pengaruh variasi kemiringan mercu *groundsil* terhadap karakteristik aliran.
- b. Mendukung upaya pengelolaan sungai yang lebih baik dengan mengurangi erosi dasar sungai dengan meningkatkan stabilitas sungai.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti terdahulu

Hasil penelitian ini tentu tidak lepas dari penelitian- penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dimana dalam mendukung penulisan penelitian ini, penulis membaca beberapa tulisan yang telah ada sebelumnya untuk dijadikan referensi. Berikut beberapa penelitian terkait penelitian yang akan dilakukan:

- a. (Maulana et al., 2024) **Studi pengaruh karakteristik aliran terhadap bangunan *groundsil* jembatan kembar gowa sungai jeneberang.**

Penelitian ini menyatakan bahwa, Aliran air mengalami perubahan kecepatan aliran yang di akibatkan oleh adanya bangunan *groundsil* yang dapat mempengaruhi karakteristik aliran. Aliran air sebelum bangunan *groundsil* dominan mengalamii sub kritis ($Fr < 1$) namun untuk dengan jarak 50 meter dari bangunan mengalami peningkatan bilangan froude dengan aliran subkritis ($Fr < 1$), ini di sebabkan karena, mengalami perubahan kecepatan aliran. Serta kedalam sungai yang relatif rendah. Adanya bangunan *groundsil* dapat mengakibatkan penurunan kecepatan aliran di sekitar bangunan *groundsil* tersebut. Sehingga karakteristik aliran yang tadinya mengalami percepatan berangsur melambat mendekati bangunan *groundsil* sehingga dapat menurunkan angka degradasi di sekitar sebelum bangunan *groundsil* tersebut.

- b. (sucipto 2011) **pengaruh kecepatan aliran terhadap gerusan lokal pada pilar jembatan dengan *groundsili***

Sucipto melakuakn penelitian dengan menganalisis pengaruh adanya perlindungan dengan *groundsil* terhadap pilar jembatan. Penempatan *groundsil* di hilir jembatan dapat tertahan sehingga material dasar di sekitar pilar tidak mengalami penurunan yang signifikan yang dapat tertahan sehingga material dasar disekitar pilar tidak mengalami penurunan yang signifikan yang dapat menyebabkan ketidak stabilan konstruksi pilar jembatan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua model penelitian, model pertama tanpa menggunakan *groundsil* (M1) dan model kedua dengan menggunakan *groundsil*(M2). Dari setiap model diuji dengan beberapa variasi kecepatan. Hasil

yang didapatkan setelah melakukan pengujian dengan tanpa *groundsill* adalah semakin besar kecepatan aliran kedalaman gerusan juga semakin besar. Pada kecepatan aliran yang sama, penempatan *groundsill* pada hilir pilar menyebabkan kedalaman aliran di sekitar pilar silinder lebih tinggi dari model (M1) sehingga kedalaman gerusan di sekitar pilar silinder lebih kecil dari model (M1) dengan angka reduksi rata-rata dari keseluruhan running pada berbagai variasi kecepatan sebesar 61,49 %. Hasil perhitungan dengan H 50 1,50 mm, diperoleh kecepatan rata-rata kedalaman aliran 1,94 m dan menghasilkan debit Q 29,07 m³/s. Bilangan Froude (Fr) 0,197 serta Angka Reynolds (Re) 1668400. Berdasarkan Bilangan Froude dan Angka Reynolds aliran yang terjadi untuk $Fr < 1$ dan $Re > 1000$ adalah termasuk aliran turbulen sub kritis

c. (Apriani et al., 2020) **model penempatan *groundsill* untuk mencegah gerusan dasar pada hilir kolam olak**

Karakteristik aliran yang diamati dalam penelitian Luluk apriani adalah menghitung angka froude(fr) pada aliran di kolam olak dan pada *end sil* bendung. pengamatan angka froude pada kedua titik tersebut dimaksudkan untuk mengetahui terjadinya loncatan air. perhitungan angka froude di kolam olak, perhitungan angka froude menghasilkan nilai angka froude (fr) < 1 pada semua variasi debit. Maka tipe aliran berdasarkan angka froude pada kolam olak menunjukkan aliran yang subkritis pada semua variasi debit. Sedangkan perhitungan angka froude yang terjadi pada sekitar gerusan yang bias diamati di daerah *end sil* dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa angka froude di end sill menghasilkan angka froude (fr) < 1 pada semua variasi debit. Maka tipe aliran berdasarkan angka froude pada aliran sub kritis pada semua variasi debit

d. (Jan et al., 2025) **Simulasi Numerik Perilaku Aliran Debris pada Rangkaian *Groundsill***

Penelitian dalam (Jan et al.) menunjukkan bahwa variasi kemiringan mercu *groundsill* tipe datar berpengaruh nyata terhadap karakteristik aliran sungai. Hasil uji laboratorium memperlihatkan bahwa perubahan kemiringan mercu memengaruhi distribusi kecepatan, pola aliran, dan potensi gerusan di sekitar bangunan. Nilai bilangan Froude (Fr) tercatat meningkat hingga masuk kondisi

superkritis ($Fr > 1$) pada mercu dengan kemiringan curam, sedangkan pada mercu dengan kemiringan landai aliran tetap berada pada kondisi *subkritis* ($Fr < 1$). Sementara itu, bilangan Reynolds (Re) berada pada kisaran $4,2 \times 10^4$ hingga $7,8 \times 10^4$, yang menunjukkan bahwa aliran berada dalam kondisi turbulen. Kecepatan aliran (V) yang terukur bervariasi antara 0,35 m/s hingga 0,82 m/s, dengan nilai tertinggi terjadi pada mercu berkedudukan 30° , sedangkan mercu 10° menghasilkan aliran yang lebih seragam dan kecepatan lebih rendah. Temuan ini menegaskan bahwa optimasi kemiringan mercu *groundsill* tipe datar sangat penting untuk mencapai keseimbangan antara pengendalian aliran, pengelolaan sedimen, serta meminimalkan gerusan di bagian hilir bangunan.

e. (Hairani & Legono, 2016) **Studi Laboratorium Perbandingan Kedalaman Dan Panjang Gerusan *Groundsil* Dengan Bukaannya Dan *Groundsill* Tanpa Bukaannya**

Hairani dan Legono (2016) menjelaskan bahwa *groundsill* merupakan bangunan pengendali dasar sungai yang berfungsi menjaga kestabilan dasar terhadap degradasi, namun keberadaannya juga memengaruhi pola aliran, pengendapan, serta potensi gerusan di bagian hilir. Melalui uji laboratorium pada saluran terbuka, mereka menemukan bahwa *groundsill* tanpa bukaan menghasilkan kedalaman gerusan relatif sebesar 0,036, sedangkan *groundsill* dengan bukaan menghasilkan kedalaman gerusan yang lebih kecil yaitu 0,024 pada bagian bukaan dan 0,013 pada bagian sayap. Panjang gerusan pada *groundsill* tanpa bukaan tercatat sebesar 0,253, sementara pada *groundsill* dengan bukaan panjang gerusan relatif lebih kecil yaitu 0,293 pada bagian bukaan dan 0,080 pada bagian sayap. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi bentuk *groundsill* memengaruhi distribusi kecepatan dan arah aliran, di mana *groundsill* dengan bukaan cenderung menghasilkan pola aliran yang lebih terpusat dan memberikan dampak berbeda terhadap karakteristik gerusan serta kestabilan tebing sungai di sekitar bangunan

tabel 2.1 peneliti terdahulu

No	Nama penulis, tahun penelitian	Nama penelitian/judul skripsi	Perbedaan	Persamaan
1	(Maulana et al., 2024)	Studi pengaruh karakteristik aliran terhadap bangunan groundsil jembatan kembar gowa sungai jeneberang	fokus pada <i>groundsil</i> sungai besar (Jeneberang), bukan variasi kemiringan mercu tipe datar di saluran uji.	Sama-sama membahas pengaruh groundsil terhadap perubahan kecepatan, Froude, dan degradasi
2	Sucipto 2010	pengaruh kecepatan aliran terhadap gerusan lokal pada pilar jembatan dengan <i>groundsili</i>	Fokus pada perlindungan pilar jembatan, bukan kemiringan mercu groundsil tipe datar.	Sama-sama membahas pengaruh groundsil terhadap aliran dan gerusan, serta menyajikan data Fr dan Re.
3	Luluk apriani 2020	Model penempatan <i>groundsil</i> untuk mencegah gerusan dasar pada hilir kolam olak	Fokus pada kolam olak dan end sill bendung,	Sama-sama meneliti pengaruh groundsil terhadap aliran dengan pendekatan bilangan Froude.
4	(Jan et al., 2025)	Simulasi Numerik Perilaku Aliran Debris pada Rangkaian Groundsil	Spesifik meneliti kemiringan mercu tipe datar dengan data Fr, Re, kecepatan	Sama-sama meneliti groundsil tipe datar dan karakteristik aliran, sesuai dengan judul skripsi.
5	(Hairani & Legono, 2016)	Studi Laboratorium Perbandingan Kedalaman Dan Panjang Gerusan <i>Groundsil</i> Dengan Bukaan Dan <i>Groundsil</i> Tanpa Bukaan	Fokus pada groundsil dengan dan tanpa bukaan, bukan pada kemiringan mercu tipe datar.	Sama-sama mengkaji pengaruh bentuk groundsil terhadap aliran dan gerusan.

2.1 *Groundsil*

2.2.1 Definisi *groundsil*

Groundsil merupakan suatu struktur ambang melintang yang di bangun pada alur sungai yang bertujuan untuk mengurangi kecepatan arus dan meningkatkan

laju pengendapan dibagian hulu struktur. Hal ini dapat menjaga agar elevasi lapisan endapan tidak mengalami penurunan. (Samuel 2023)

Berbeda dengan fungsi bendung dimana air dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti irigasi, *groundsil* difungsikan untuk mengatasi kerusakan dasar sungai akibat perubahan kecepatan debit aliran agar dapat melindungi bangunan air lainnya seperti pilar jembatan sehingga kegagalan konstruksi dapat cegah.

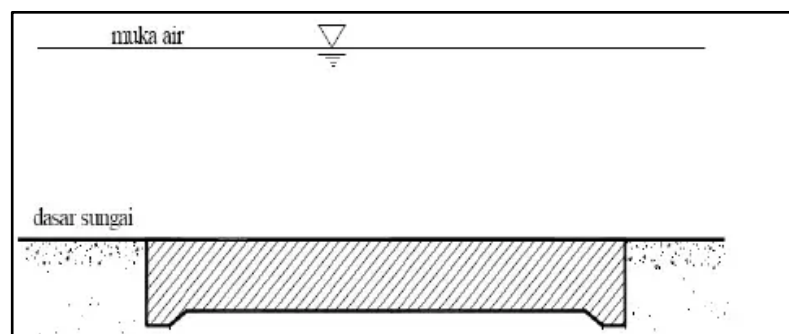
Pada umumnya, beberapa bangunan *groundsil* dibangun dengan posisi mercu yang tidak jauh dari dasar sungai. Hal ini dimaksudkan untuk menaikan dasar sungai pada keadaan sebelumnya. Mercu *groundsil* ialah bagian atas dari *groundsil* yang berfungsi sebagai tempat air melimpas

2.2.2 Jenis- jenis *groundsil*

Menurut sasrodarsono (1985) *groundsil* secara umum dibagi menjadi dua tipe, antara lain sebagai berikut:

a. *Groundsil* tipe ambang datar (*bed gindle work*)

Bangunan *groundsil* tipe ini hampir tidak mempunyai terjunan dan elevasi mercu *groundsil* hampir sama dengan permukaan dasar sungai. *Groundsil* tipe ini bergungsi untuk menjaga agar permukaan dasar sungai tidak turun lagi. (Wardhana, 2023)

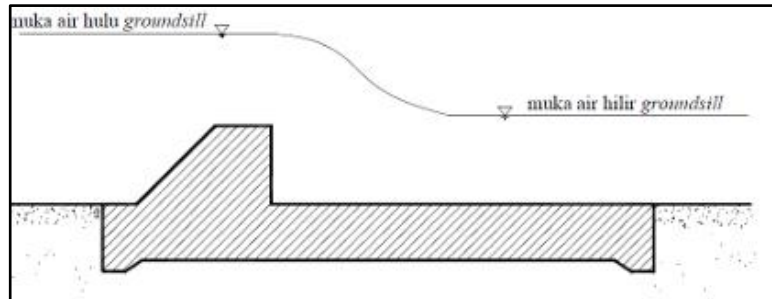


Gambar 2.1 *Groundsil* Datar

b. *Groundsil* tipe ambang pelimpang (*head work*)

Bangunana *groundsil* tipe ini mempunyai terjunan, sehingga elevasi permukaan dasar sungai dibagian hulu *groundsil* lebih tinggi dari elevasi permukaan dasar sungai di bagian hilirnya. Tujuan dari tipe *groundsil* ini

adalah untuk lebih melandaikan kemiringan dasar sungai.(Sulistya et al., n.d.)



Gambar 2.2 *Groundsil* Pelimpah

2.2.3 Jenis *groundsil* berdasarkan konstruksinya

Jenis ambang berdasarkan konstruksinya dapat dibedakan menjadi 3 yaitu ambang beton, ambang pasangan batu dan ambang matras. Berikut ini adalah penjelasan dari tiap- tiap ambang:

a. *Groundsil* Beton

Bahan materialnya terbuat dari beton cor dengan kelengkapan hubungan dasar blok beton. jenis konstruksi ini memiliki keunggulan diantaranya, perawatan dan pemeliharanya sangat mudah. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan penambahan lapisan blok beton dengan cara menimbun lapisan berikutnya. Sehingga lapisan sebelumnya atau yang lama tertimbun lapisan baru. Hal ini dapat berlangsung apabila terjadi proses penurunan bawah sungai.

b. *Groundsil* Pasangan Batu

Biasanya dapat dibuat dari ambang dengan permukaan datar dengan tinggi tekanan lebih kecil. Penggunaan batu-batuan yang dihamparkan dan blok beton biasanya dimanfaatkan untuk pondasi tubuh *groundsil*. Selain itu, bagian permukaanya dilapisi hamparan pasangan batu baik batu kosong maupun batu biasa. Pemilihan batu biasa di peroleh dari sungai yang memiliki arus kuat dan keras.

c. *Groundsil* Matras

Jenis amabang ini dibuat dari sekumpulan batang yang di susun mencapai elevasi ambang. Jenis ambang ini terdiri atas jenis matras ranting, matras kayu dan matras beton.

2.2.4 Manfaat *groundsil*

a. Pengendalian Aliran

groundsil berperan dalam mengatur aliran air, terutama di titik-titik rawan dengan peningkatan kecepatan aliran. Dengan kemampuannya untuk menahan dan mengarahkan aliran air, struktur ini membantu menjaga kestabilan aliran sungai. Hal ini sangat penting untuk mencegah resiko kerusakan akibat aliran air yang tidak terkendali.

b. Mencegah Erosi

Groundsil menjadi solusi untuk mengatasi masalah erosi yang sering terjadi pada sungai. Erosi dapat merusak tepi sungai dan mengancam infrastruktur di sekitarnya.

c. Menjaga Kualitas Ekosistem

Groundsil turut mendukung pelestarian ekosistem sungai. Dengan mengontrol aliran air dan mencegah erosi, struktur ini membantu menjaga stabilitas habitat akuatik. Tanpa perubahan aliran yang drastis, keseimbangan ekologis di sungai dapat terpelihara, sehingga habitat bagi flora dan fauna tetap terjaga.

2.2.5 Bagian-bagian *groundsil*

a. Main dam

Bagian utama pada struktur bangunan ambang. Bagian ini perlu melakukan perhitungan dengan sistem hidraulis saat menentukan ketinggian mercu. Hal ini dilakukan agar perubahan gradasi bentuknya alur sungai dibagian dasar memiliki kestabilan dan keamanan yang terjamin. Apabila desain mercu semakin tinggi maka terjadi penurunan gaya tarikan pada aliran sungai. Apabila dasar sungai memiliki ketinggian terlalu tinggi di hulu maka dapat menyebabkan pengerusan dibagian hilir

ambang. Lantai terjun memiliki fungsi secara langsung dengan energi loncatan air sehingga memiliki tingkat kedalaman.

b. Apron Hilir

Bagian dari kolam olah yang memiliki panjang dan ketinggian yang sudah ditentukan berdasarkan nilai ketinggian yang diperoleh muka air hulu. Hal tersebut memiliki fungsi untuk menjaga dasar sungai dari perputaran air secara melingkar yang terjatuh di lantai terjunan.

c. Apron Depan

Bagian ini terletak dibagian hulu dengan memiliki fungsi untuk mengatasi bahaya pinging.

d. Side Wall

Bagian yang paling rentang terhadap bahaya pinging. Cara mengatasinya dengan pemberian tirai. Namun, di daerah bertanah keras sangat sulit untuk dilakukan. Bangunan ini memiliki fungsi untuk mengarahkan aliran sungai dan sangat rentang terhadap gerusan air.

2.2 Sungai

Menurut Wardiani proses terjadinya sungai adalah air yang berada di permukaan daratan, baik air hujan, mata air, maupun cairan glester, akan mengalir melalui sebuah saluran menuju tempat yang lebih rendah. Namun, secara proses alamiah aliran ini akan mengikis daerah-daerah yang dilaluinya. Akibatnya, saluran ini semakin lama semakin lebar dan panjang, dan terbentuklah sungai.

Dalam perjalanan dari hulu ke hilir aliran sungai secara bertahap dikombinasikan dengan banyak sungai lainnya. Kombinasi ini membuat tubuh sungai semakin lebih besar. Jika ada lebih dari satu cabang di sungai, maka sungai yang daerah pengaliran, panjang dan volume airnya paling besar disebut sebagai sungai utama (main river). Sedangkan cabang yang lain disebut anak sungai.

Sungai atau saluran terbuka menurut Bambang Triatmodjo (1993) adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang

dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran.

Menurut Bambang Triatmodjo (1993) jenis aliran pada saluran terbuka diantaranya yaitu aliran laminier dimana kondisi aliran dengan garis-garis aliran mengikuti jalur yang sejajar, sehingga tidak terjadi pencampuran antara bidang-bidang geser didalam fluida. Aliran laminier terjadi pada bilangan Reynold yang rendah ($Re < 2.000$), dimana viskositas yang dominan. Dan aliran turbulen terjadi pada aliran-aliran fluida yang bergerak tidak teratur, tidak tenang dan partikel-partikel airnya saling acak. Aliran turbulen memiliki angka Reynolds $Re > 4.000$. Aliran melalui saluran terbuka dianggap seragam (uniform) bila berbagai variabel aliran melalui saluran terbuka dianggap seragam atau berubah (*non uniform flow* atau *varied flow*), terjadi apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan, selalu berubah-ubah.

2.4 Karakteristik Aliran

Menurut Venkatesh Chow (1992), Karakteristik aliran merupakan gambaran spesifik mengenai aliran yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan hidrologi, dan manusia. Aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang mempunyai permukaan yang bebas. Permukaan yang bebas itu merupakan pertemuan dua fluida dengan kerapatan (*density*) yang berbeda. Biasanya pada saluran terbuka itu dua fluida adalah udara dan air dimana kerapatan udara jauh lebih kecil dari pada kerapatan air.

Menurut Jurnal Sarwono 2016, sebelum melakukan uji pengaliran maka harus diketahui sifat-sifat hidrauliknya terlebih dahulu. Untuk mengetahui karakteristik aliran, perlu diketahui analisis berdasarkan formulasi hidraulik. Parameter yang berpengaruh terhadap karakteristik aliran adalah:

- a. Debit aliran (Q)
- b. Kecepatan aliran (v)
- c. Kedalaman saluran (h)
- d. Percepatan gravitasi (g)

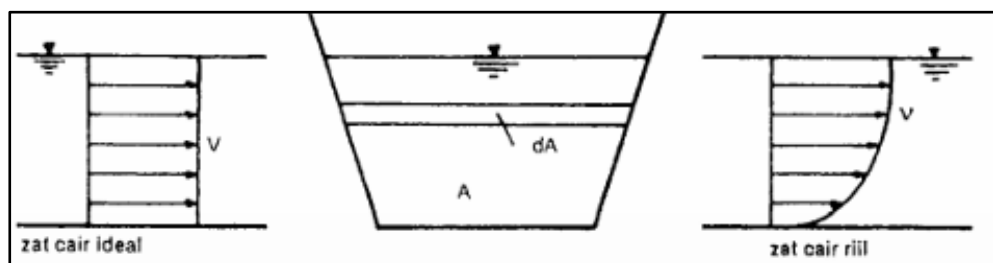
Gerakan air pada saluran terbuka berdasarkan efek dari gravitasi bumi yang didistribusikan tekanan dalam air umumnya bersifat hidrostatik karena kualitasnya tergantung dari berat jenis aliran dalam kedalaman. Karena berat jenis aliran dapat di asumsikan dalam tekananya maka semakin dalam. Namun pada beberapa kondisi biasa ditemukan distribusi tekanan tidak hidrostatik (ven te chow 1992)

Menurut ven te chow (1992) aliran di golongan menjadi beberapa jenis, yaitu

- a. Aliran tunak (*steady flow*) merupakan kondisi dimana komponen aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran tidak berubah atau bisa dikatakan konstan dalam suatu selang waktu tertentu
- b. Aliran tak tunak (*unsteady flow*) merupakan kondisi dimana komponen aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran berubah sesuai dengan waktu
- a. Aliran seragam (*unifrom flow*) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran.
- b. Aliran berubah (*non- unifrom flow/ varied flow*) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran berubah sepanjang saluran.

2.5 Debit

Debit aliran adalah laju aliran air di hitung dalam bentuk volume yang melewati suatu penampang persatuan waktu. Di dalam zat cair ideal dianggap tidak terjadi gesekan. Maka kecepatan adalah sama di tiap titik suatu tampang melintang. (Akhir, 2021) Distribusi kecepatan aliran untuk zat cair ideal dan zat cair riil saluran terbuka dapat dilihat pada gambar 2.3 sebagai berikut.



Gambar 2.3 kecepatan aliran melalui saluran terbuka

(sumber : Triatmojo 1993)

Apabila tampang dari aliran tegak lurus dengan arah aliran A, maka debit aliran dinyatakan dalam rumus seperti persamaan (2.2) berikut ini.

$$Q = AxV \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

Q = debit aliran (m³/ detik)

A = luas penampang (m²)

V = kecepatan aliran (m/detik)

2.6 Kecepatan Aliran

2.6.1 Pelampung

Pengukuran kecepatan arus secara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan pelampung, yaitu dengan mengukur selang waktu yang diperlukan oleh pelampung untuk menempuh suatu jarak tertentu. Rumus dengan menggunakan metode pelampung dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$V = \frac{L}{t} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

V = Kecepatan aliran(m³/detik)

L = panjang (m)

T = Waktu (s)

2.6.2 Curent meter

Penelitian ini menggunakan alat Pengukuran kecepatan dengan *curent meter* cukup banyak dilakukan. Perhitungan kecepatan aliran pada sungai maupun irigasi sangat dibutuhkan untuk menghitung debit aliran.(Utami et al., 2022) Ada dua tipe alat ukur yaitu tipe mangkok (*price-up curerent*) dan baling – baling (*propeller current meter*). Karena adanya partikel air yang melintas maka mangkok dan baling-baling akan berputar , pada tipe pertama mangkok- mangkok akan berputar terhadap sumbu vertikal, sedangkan tipe kedua baling-baling berputar, terhadap sumbu horizontal (Sulistya et al., n.d.). Jumlah putaran per satuan waktu dapat dikonversi menjadi kecepatan arus. berdasarkan SNI 8066: 2015 untuk mendapatkan ketelitian dalam pengukuran debit, peralatan pengukuran debit harus dikalibrasi dengan ketentuan yang tertera pada kartu/label

kalibrasi kecuali terjadi hal-hal yang mengakibatkan perubahan pada alat ukur: jatuh, membentur benda keras, dan tercelup ke dalam cairan asam. Kalibrasi *curent meter* dilakukan dengan menggunakan *calibration flume* dan dilaksanakan oleh instansi yang berwenang dan telah terakreditasi.

2.7 Bilangan *froude*

Bilangan *Bilangan froude* adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk mengukur hambatan suatu benda yang bergerak melalui saluran air, dan untuk membandingkan benda- benda yang berbeda ukuran. Dimana menurut penemuanya, wiliam *froude*, angka ini berdasarkan nilai kecepatan dibagi selisih jarak.

Berdasarkan bilangan *froude*, jenis-jenis aliran dapat dibedakan sebagai berikut:

2.7.1 Aliran kritis

yaitu aliran yang mengalami gangguan permukaan, seperti yang disebabkan oleh riak air yang terjadi akibat pelemparan batu ke dalam air pada suatu sungai , yang mana riak tersebut tidak bergerak dan menyebar melawan arus. Aliran dikategorikan aliran kritis jika nilai *froude* sama dengan satu ($F_r = 1$).

2.7.2 Aliran subkritis

dimana pada aliran ini kedalaman aliran umumnya lebih besar dibandingkan pada aliran dengan kecepatan rendah, semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus. Jika nilainya lebih kecil dari satu ($F_r < 1$) maka dianggap aliran subkritis.

2.7.3 Aliran super kritis

pada aliran ini kedalaman alirannya cenderung lebih kecil dan kecepatan alirnya relatif lebih tinggi, riak-riak akibat adanya gangguan dapat mengikuti arah aliran. Jika nilai *froude* lebih besar dari satu ($F_r > 1$) maka aliran tersebut merupakan aliran super kritis.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gd}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

V = kecepatan aliran(m/det)

g = gravitasi (9,8 m/ det²)

d = kedalaman aliran(m)

2.8 Bilangan Reynold

Berdasarkan ciri-ciri alirnya viskositas dibedakan menjadi dua, yaitu tipe aliran laminar dan tipe aliran turbulen. Dalam aliran laminar, partikel- partikel cairan bergerak secara teratur sepanjang jalur paralel. Aliran ini terjadi pada kecepatan kecil dan/ atau pada viskositas besar. Pengaruh kekentalan aliran sangat besar karena dapat meredam gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan aliran menjadi turbulen. Menurut nilai viskositas dan meningkatkan kecepatan permukaan pada nilai batas pertemuan akan mengakibatkan terjadinya perubahan aliran laminar menjadi aliran turbulen. Pada aliran turbulen jenis ini pergerakan partikel-partikel cairan dalam jalur yang tidak beraturan. Aliran ini terjadi bila kecepatannya besar dan nilai viskositasnya kecil (Rohani, 2023).

Bilangan reynold ditemukan oleh Orsborne Reynolds pada tahun 1884, yang telah melakukan eksperimen yang bertujuan untuk menunjukkan sifat aliran laminar dan aliran turbulen. Pada percobaan aliran yang terjadi pada pipa , nilai bilangan reynolds berada dibawah 500 maka dikatakan aliran laminar. Sementara itu, aliran akan berubah menjadi turbulen ketika bilangan Reynolds melebihi 1000. Secara umum, aliran yang mengalir melalui saluran terbuka cenderung turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif lebih tinggi (Rohani, 2023).

Angka Reynold dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$R_e = \frac{\rho u L}{\mu} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana: $v = \frac{\mu}{\rho}$ sehingga R_e

$$R_e = \frac{\mu L}{v}$$

Keterangan

R_e = Angka Reynolds

U = kecepatan aliran (m/s),

L = Panjang karakteristik (m), pada saluran terbuka $L = R$,

R = jari-jari hidrolis penampang saluran (m),

ρ = berat jenis fluida

μ = Kekentalan fluida (kg/m.s)

ν = viskositas kinematik (m²/s)(1,14-0,013)(To – 15)² 10⁻⁶(m²/s)

Nilai bilangan Reynolds pada saluran terbuka

Laminear : $Re < 500$

Transisi : $500 < Re < 1000$

Turbulen : $Re > 1000$

2.9 Skala Model Distorsi

Dalam beberapa keadaan, model perlu dibuat dengan ukuran yang berbeda dari kondisi prototipe. Selain itu, ketika model mencakup area yang sangat luas, seperti sungai, muara, pelabuhan, dan garis pantai, tidak mungkin untuk membuat model sebesar yang diperlukan. Model dengan skala yang terdistorsi memperhitungkan parameter tertentu yang dominan untuk mencapai kesesuaian yang mendekati proses alami. Model ini, yang memiliki geometris kongruen pada ukuran yang sama dan dikenal sebagai model tidak terdistorsi, sering kali sulit untuk dihasilkan, sehingga banyak digunakan.

Membangun model yang lebih kecil bisa lebih ekonomis dan menghemat ruang, tetapi hal ini mungkin hanya menghasilkan aliran dengan kedalaman beberapa milimeter. Ini berarti bahwa kondisi permukaan yang kasar dan keadaan turbulen tidak dapat dicapai. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi yang memperhatikan biaya dan ruang yang tersedia untuk memenuhi kedua aspek tersebut. Salah satu metode untuk mendapatkan hasil ini adalah dengan menciptakan model yang terdistorsi atau model yang memiliki skala horizontal berbeda dengan skala vertikalnya. Biasanya, skala vertikal lebih besar dibandingkan skala horizontal. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk menghasilkan model yang tidak sejajar dalam hal ketersediaan ruang, kemudahan pengoperasian, dan hasil yang representatif.

2.9.1 Skala luas

$$n_{L,h} \frac{L_p}{L_m} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$n_{L,v} \frac{L_p}{L_m} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

n_{Lv} = skala vertikal

n_{Lh} = skala horizontal

L_p = panjang prototipe

L_m = panjang pada mode

2.9.2 Skala debit

$$n_Q = n_{Lh} \cdot n_{Lv}^{3/2} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan

n_Q = skala debit

n_{Lv} = Skala vertikal

n_{Lh} = skala horizontal

2.9.3 Skala kecepatan

$$n_v n_{Lv}^{1/2} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan

n_v = skala kecepatan

n_{Lv} = skala vertika

2.10 Similaritas Geometris

Kesesuaian geometri terjadi ketika bentuk model dan prototipe sama, tetapi dimensinya dapat berbeda. Perbandingan ukuran yang dilakukan antara model dan prototipe adalah identic. Dua jenis kongruensi geometri adalah sempurna (tidak terdistorsi) dan terdistorai. Dalam kongruensi geometri sempurna, skala horizontal(panjang) dan vertikal adalah sama, tetapi dalam model terdistorsi, skala panjang dan vertikal tidak sama. Skala model harus dibuat tanpa distorsi jika kondisi memungkinkan: namun, jika diperlukan, skala model dapat dibuat dengan distorsi. Kesesuaian geometri dapat di wakili sebaga berikut:

2.10.1 Panjang , Lebar

Skala panjang, yang umumnya dinotasikan n_L

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} = \frac{\text{panjang pada prototipe}}{\text{panjang pada model}} \dots \dots \dots (2.10)$$

2.10.2 Tinggi atau kedalaman

Skala tinggi umumnya dinotasikan n_h

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} = \frac{\text{panjang pada prototipe}}{\text{panjang pada model}} \dots \dots \dots (2.11)$$

2.10.3 Rasio Distorsi model

$$r = \frac{n_l}{n_v} = \frac{\text{skala horizontal}}{\text{skala vertikal}}$$

Dimana :

n_L = skala panjang

n_h = skala kedalaman

L_p = panjang pada Prototipe

h_p = Tinggi Pada Protatipe

h_m = Tinggi pada model

n_v = skala vertikal

n_L = skala horizontal

r = Rasio Distorsi model

2.11 Similaritas Kinematis

Perbedaan kecepatan dan percepatan aliran pada dua titik pada model dan prototipe yang arahnya sama bernilai sama dikenal sebagai kongruensi kinematik. Pada model tidak terdistorsi, perbandingan kecepatan dan percepatan aliran adalah sama pada segala arah, tetapi pada model terdistorsi, perbandingan adalah sama hanya pada satu arah, yaitu vertikal atau horizontal. Berikut ini adalah deskripsi skala waktu, skala debit n_Q , dan skala kecepatan n_v :

2.11.1 Skala Kecepatan

$$n_v = n_{L,v}^{1/2} \dots \dots \dots (2.12)$$

2.11.2 Skala Debit

$$n_Q = n_{L,h} \cdot n_{L,v}^{3/2} \dots \dots \dots (2.13)$$

2.11.3 Skala Waktu

Waktu dapat dijabarkan sebagai:

$$t = \frac{\text{jarak } (L)}{\text{kecepatan } (V)}$$

hubungan tersebut dapat dijabarkan menjadi:

$$n_t = n_h^{1/2} \dots \dots \dots (2.13)$$

2.11.4 Skala Percepatan

$$n_a = \frac{ap}{a_m} = \frac{n_l}{n_y} \dots \dots \dots (2.10)$$

2.12 Similitudo Dinamis

Jika model dan prototipe secara geometris dan kinematis kongruen, dan gaya yang bekerja pada keduanya mengalir dalam arah yang sama, maka keduanya disebut kongruen dinamis. Pastikan bahwa setiap gaya yang bekerja pada model dapat dihasilkan dalam rasio yang tetap terhadap prototipe karena kepatuhan dinamis selalu terjadi dan termasuk dalam kepatuhan kinematik dan dinamis. parameter kesamaan dinamis mencakup:

- a. Berat Spesifik
- b. Energi
- c. Gaya
- d. Impuls
- e. Kerja
- f. Massa
- g. Momen
- h. Rapat massa
- i. Tegangan permukaan
- j. Tekanan
- k. Tenaga
- l. Viskositas dinamis

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Aliran tanpa menggunakan *groundsil* kecepatan aliran menunjukkan kecepatan relatif stabil pada kisaran 0,81-1,36 m/s. penerapan *groundsil* mengubah pola aliran secara signifikan. Kemiringan 13° menurunkan kecepatan menjadi 0,27-1,09 m/s, kemiringan 16° menghasilkan variasi lebih luas (0,41-1,63 m/s) dengan percepatan pada debit tinggi, sedangkan kemiringan 25° menghasilkan variasi lebih luas (0,14-1,36 m/s) dengan percepatan pada debit tinggi, sedangkan kemiringan 25° memperlihatkan rentang 0,14-1,36 m/s. dengan pola lebih terkendali. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar kemiringan mercu, semakin besar pula kemampuan struktur dalam menurunkan kecepatan aliran berlebihan.

Bilangan Froude, kondisi tanpa *groundsil* menunjukkan nilai stabil 0,34-0,49 yang menandakan aliran subkritis. Setelah penerapan *groundsil*, variasi nilai Froude menjadi lebih nyata, kemiringan 13° menghasilkan 0,22- 0,38 dengan kontrol aliran yang efektif, kemiringan 16° memberikan rentang lebih luas 0,26-0,73 dengan percepatan pada debit tinggi, sedangkan kemiringan 25° menampilkan rentang 0,10- 0,78 dengan memperlambat besar pada debit rendah tetapi tetap konsisten subkritis debit menengah hingga tinggi. Dengan demikian, semua variasi kemiringan tetap menjaga kondisi aliran subkritis ($Fr < 1$), variasi kemiringan menunjukkan bilangan Reynoldsm, tanpa *groundsil* nilai berada pada kisaran 436,01- 1.259,58 yang mengindikasikan kondisi transisi hingga turbulen penuh. Penerapan *groundsil* 13° menekan nilai menjadi 73,13-497,95 sehingga aliran berubah ke laminar – transisi. Pada kemiringan 16°, Reynolds berkisar 73,61 - 726,68 yang menunjukkan karakteristik campuran antara laminar, transisi, hingga turbulen, terutama pada debit tinggi. Sedangkan kemiringan 25° rentang 18,52 - 952,24 dengan reduksi terbear dan konsisten, memperlihatkan kemampuan struktur ini dalam mempertahankan kondisi laminar pada debit rendah dan

transisi terkendali pada debit sedang hingga tinggi, secara keseluruhan, variasi kemiringan *groundsil* tipe datar terbukti berpengaruh besar terhadap debit, kecepatan, serta karakteristik bilangan Froude dan Reynolds. Perubahan yang terjadi memperlihatkan pergeseran aliran dari kondisi turbulen tanpa kontrol menuju kondisi lebih terkendali dengan dominasi subkritis.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis dari hasil analisis data dan hasil penelitian sebagai berikut:

- a. Untuk penelitian lanjutan, disarankan agar pengujian tidak hanya terbatas pada variasi kemiringan mercu 13° , 16° , dan 25° saja, tetapi juga mencakup variasi kemiringan lain sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih luas mengenai efektivitas *groundsil* terhadap karakteristik aliran.
- b. Penggunaan teknologi numerik atau simulasi komputer (CFD) dapat menjadi pelengkap penelitian eksperimen laboratorium agar hasil yang diperoleh lebih akurat dan dapat diterapkan dalam skala prototipe.

DAFTAR PUSTAKA .

- Ikbar Dliaul H (2021). *Kajian Debit Aliran Pada Flume Besar Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia (Study Discharge Flow Of Large Flume Of Hydraulic Laboratory Of Civil Engineering Departement Of Islamic University Of Indonesia)*
- Apriani, L., Sipil, J. T., Teknik, F., & Mataram, U. (2020). *Scanned By Tapscanner.*
- Chow, V.T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. Mcgraw-Hill, New York.
- French, R.H. (1985). *Open-Channel Hydraulics*. Mcgraw-Hill, New York.
- Galib Ishak, I. M., Herman, R., Sc, M., Bendung, F. :, Danau, G., Kabupaten, T., Propinsi, W., & Selatan, S. (2020). *Rekayasa Sungai Universitas Tadulako Tahun 2020.*
- Hairani, A., & Legono, D. (2016). Laboratory Study On Comparison Of The Scour Depth And Scour Length Of Groundsill With The Opening And Without The Opening. *Journal Of The Civil Engineering Forum*, 2(1), 151. <https://doi.org/10.22146/jcef.26838>
- Henderson, F.M. (1966). *Open Channel Flow*. Macmillan, New York.
- Jan, C. D., Zeng, Y. C., & Dey, L. (2025). Numerical Simulation Of Debris Flow Behavior Over A Series Of Groundsills. *Water (Switzerland)*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/w17030293>
- Liu, Z., Wang, W., Wang, Y., & Ishihara, T. (2020). Large Eddy Simulations Of Slope Effects On Flow Fields Over Isolated Hills And Ridges. *Journal Of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics*, 201(April 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104178>
- Maulana, A. K., Musa, R., & Ashad, H. (2024). Evaluasi Fungsi Bangunan Pengendali Sedimen Sungai Jeneberang Bagian Hulu Waduk Bili-Bili Kab.

- Gowa (Studi Kasus Pada Jebolnya SP.1 Dan SP.2). *Jurnal Teslink : Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 6(2), 300–307.
- Mulyandari ,R. (2024) . *Kajian Gerusan Lokal Pada Ambang Dasar Akibat Variasi Q(Debit),(Kemiringan) Dan T (Waktu)*
- Pangestu, A. D. ., & Astuti, S. A. Y. (2018). Studi Gerusan Di Hilir Bendung Kolam Olak Tipe Vlughter Dengan Perlindungan Groundsil. *Teknisia, XXIII*, 463–473.
- Ragilia, P. S., & Susarman, S. (2021). Efektifitas Struktur Groundsill Dalam Mengurangi Gerusan Di Dasar Sungai: Kajian Literatur. *JICE (Journal Of Infrastructural In Civil Engineering)*, 2(01), 8. <https://doi.org/10.33365/jice.v2i01.1073>
- Rohani, I. (2023). *Model Pengaturan Penampang Saluran Untuk Rekayasa Pemeliharaan Alur Di Muara The Regulation Model Of Cross-Sectional For Maintaining Channel In The River Mouth.*
- Subramanya, K. (2009). *Flow In Open Channels*. Tata Mcgraw-Hill, New Delhi.
- Sucipto (2011). Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Dengan Groundsill. *Jurnal Perlindungan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang*.
- Sulistya, K., Sriyana, I., Sungai, B. T., Sipil, D. T., Teknik, F., Diponegoro, U., & Semarang, K. (N.D.). *Pengujian Model Fisik Terhadap Karakteristik*.
- Triatmodjo,B. 2003a. *Hidrolika I*. Yog Yakarta. Beta Offset
- Utami, A. M. H., Yupi, H. M., & Nindito, D. A. (2022). Uji Eksperimental Pengaruh Kecepatan Aliran Dan Tinggi Muka Air Terhadap Stabilitas Model Fisik Sekat Kanal Yang Terbuat Dari Material Beton. *Buletin Profesi Insinyur*, 5(2), 89–94. <https://doi.org/10.20527/bpi.v5i2.166>
- Purwantoro, D., 2015, Model Pengendalian Gerusan Di Sekitar Abutmen Dengan

Pemasangan Groundsill Dan Abutmen Bersayap. INERSIA, Volume XI No.1 Hal. 79-89.

Ven Te Chow, 1992, *Open Channel X Hydraulics*, Erlangga, Jakarta

Wardhana, M. R. (2023). Analisis Kebutuhan Dimensi Groundsill Jembatan Kebon Agung II Sungai Progo (Analysis Of Dimensions Requirement For The Groundsill Kebon Agung II Bridge Progo River). *Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia*.

Zamani, K. (2016). Review Of Flow Through Open Channels By Rajesh Srivastavaoxford University Press; 2008; ISBN 978-0-19-569038-5; 432 Pp.; \$38.00. . *Journal Of Hydraulic Engineering*, 142(10), 2008–2009. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)Hy.1943-7900.0001230](https://doi.org/10.1061/(ASCE)Hy.1943-7900.0001230)