

Kajian Koefisien Kekasaran Dasar Saluran dengan Ukuran Agregat yang Bervariasi (Uji Laboratorium)

Semuel Tanggulangan^{1*}, Ratna Musa², Ali Mallombassi³

1*) Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang, Direktorat Sumber Daya Air,

Kementerian Pekerjaan Umum, muelsamuel1919@gmail.com

2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

3) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

Open channels are a common flow system used in civil engineering infrastructure, such as drainage and irrigation, where the water flow is directly exposed to the atmosphere. One important parameter in the hydraulic analysis of open channels is the Chezy coefficient (C), which reflects the relationship between flow velocity, bed roughness, and channel slope. This study aims to analyze the effect of channel surface roughness on the C value through laboratory experiments with varying aggregate sizes (0.5–1 cm, 1–2 cm, and 2–3 cm) and channel gate openings. The results show that smaller aggregates produce higher C values (22.09–22.18), while larger aggregates produce lower values (13.90–14.01). Furthermore, the wider the gate opening, the higher the C value. These findings indicate that bed roughness and flow conditions play a significant role in flow efficiency in open channels.

Keywords: Aggregate, Chezy Coefficient, Open Channel, Surface Roughness, Water Flow.

Abstrak

Saluran terbuka merupakan sistem aliran yang umum digunakan dalam infrastruktur teknik sipil, seperti drainase dan irigasi, di mana aliran air terpapar langsung dengan udara bebas. Salah satu parameter penting dalam analisis hidraulika saluran terbuka adalah Koefisien Chezy (C), yang mencerminkan hubungan antara kecepatan aliran, kekasaran dasar, dan kemiringan saluran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kekasaran permukaan saluran terhadap nilai C melalui eksperimen laboratorium dengan variasi ukuran agregat (0,5–1 cm, 1–2 cm, dan 2–3 cm) serta bukaan pintu saluran. Hasil menunjukkan bahwa agregat lebih kecil menghasilkan nilai C lebih tinggi (22,09–22,18), sedangkan agregat besar menghasilkan nilai lebih rendah (13,90–14,01). Selain itu, semakin lebar bukaan pintu, semakin tinggi nilai C yang dihasilkan. Temuan ini menunjukkan bahwa kekasaran dasar dan kondisi aliran berperan penting dalam efisiensi aliran pada saluran terbuka.

Kata Kunci: Agregat, Aliran Air, Kekasaran Permukaan, Koefisien Chezy, Saluran Terbuka.

1. PENDAHULUAN

Pengaruh besarnya kekasaran pada saluran dapat dinyatakan dalam suatu nilai yang disebut dengan koefisien kekasaran. Bentuk dan besar kecilnya partikel di permukaan saluran akan mempengaruhi besarnya kekasaran, semakin besar butiran penyusun permukaan di saluran maka kekasarannya dan sebaliknya. Kekasaran permukaan ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luasan basah yang menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Hal ini sering dianggap sebagai satu satunya faktor dalam menentukan koefisien kekasaran (Chow 1997). Penentuan koefisien kekasaran merupakan hal yang sangat penting dalam menentukan pendistribusian debit aliran yang telah direncanakan pada badan air.

Hambatan aliran dan sedimen pada berbagai bentuk kekasaran dasar permukaan saluran mempunyai variabel-variabel tertentu. Seperti bentuk kekasaran yang bervariasi dengan

beragamnya contoh dilapangan yakni ditumbuhi rumput liar atau berbagai bentuk kekasaran lainnya sehingga dapat menghambat aliran air di saluran. Hal ini juga mencakup kedalaman, kemiringan saluran dan lain-lain.

Masalah utama dalam penentuan hambatan aliran bergantung pada ketepatan dalam memformulasikan hubungan relatif dimensi bentuk dasar yang terjadi pada berbagai tahapan aliran, dan menghubungkannya dengan kekasaran dasar saluran. Pada dasarnya, perubahan kondisi aliran merupakan sesuatu hal yang penting dalam memprediksi kekasaran dalam saluran. Hubungan formulasi bentuk dasar saluran terhadap harga koefisien kekasaran (n Manning) yang terjadi pada saluran mempunyai berbagai variasi parameter aliran yang berbeda sesuai jenis variasi agregat atau bentuk dasar permukaan suatu saluran.

Debit yang mengalir pada suatu penampang terbuka lebih mudah diamati dibanding debit pada penampang tertutup, namun untuk analisisnya justru kebalikannya. Debit air adalah kecepatan aliran zat cair persatuan waktu. Debit juga didefinisikan sebagai hasil perkalian antara kecepatan dengan luas penampang. Semakin besar kecepatan dan luas penampang maka akan semakin besar pula debit yang dihasilkan. Kecepatan itu sendiri adalah besarnya jarak yang ditempuh persatuan waktu. Fenomena bentuk dasar (*bedforms*) pada sungai sering kita jumpai dalam morfologi sungai. Bentuk dasar ini terjadi disebabkan oleh aliran (*flow induced*) dan pengaruh kekasaran dasar (*roughness*). Akibat dari perubahan volume angkutan sungai dapat menyebabkan bentuk dasar sungai berubah-ubah. Angkutan sedimen dasar (*bed load*) terjadi dipengaruhi oleh kondisi aliran meliputi debit aliran (Q), kemiringan dasar saluran (S), serta variasi komposisi sedimen dasar.

Setiap material (bahan dasar) memiliki bentuk permukaan tertentu, ada permukaan material yang halus atau licin ada juga permukaan material yang kasar. Licin atau kasarnya permukaan suatu material sering dijadikan sebagai indikator kualitas material. Material dengan jenis dan kualitas yang sama dapat memiliki kekasaran permukaan yang berbeda atau sebaliknya jenis dan kualitas materialnya berbeda tetapi memiliki kekasaran permukaan sama. Misalnya beton pracetak dengan mutu yang sama dapat memiliki dua jenis kekasaran permukaan yang berbeda yaitu beton *drycast* memiliki permukaan yang relatif lebih kasar jika dibandingkan dengan beton *wetcast* walaupun dengan kualitas (kuat tekan) yang sama, (Suparta, 2015).

Demikian juga kekasaran permukaan bahan dasar permukaan beton dapat saja sama dengan kekasaran hidraulis pasangan batu yang di plester atau di aci dengan kualitas pengerjaan yang baik. Jika dianalogikan dengan kekasaran permukaan saluran atau kekasaran permukaan bahan dasar maka kekasaran permukaan bahan dasar dapat dikuantifikasi berdasarkan nilai perbandingan antara luas permukaan basah dengan luas bidang proyeksinya sehingga nilai kekasaran permukaan bahan dasar dapat menjadi ukuran dari kekasaran material saluran (Suparta, 2018).

Informasi mengenai kompleksitas bentuk dasar saluran standar atau saluran berpasir telah menarik minat praktisi teknik dan peneliti. Banyak studi dan kajian telah dilakukan tentang konfigurasi dasar saluran, baik melalui aplikasi di lapangan maupun penelitian laboratorium. Perubahan aktivitas manusia di daerah aliran sungai juga berdampak pada kapasitas sungai dalam mengalirkan air dan material. Kondisi ini sering kali menyebabkan kerusakan pada hambatan saluran tersebut. Dengan melakukan riset, evaluasi, serta langkah yang tepat, cepat dan akurat dengan melakukan analisis yang didasari dengan sumber-sumber yang kuat, guna mencari alternatif berupa analisis agar bentuk kekasaran butiran agregat dapat diketahui dengan bentuk miniatur atau prototipe uji riset dalam Laboratorium Hidrolika (Gafar et al., 2019).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji dan menganalisis besaran nilai Koefisien kekasaran dasar permukaan saluran pada model saluran terbuka. Selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis hubungan antara relasi besaran ukuran

variasi butiran agregat dan bukaan pintu terhadap nilai koefisien pada model saluran terbuka

2. METODE

A. Rancangan Penelitian

Rancangan perlakuan ini dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran tentang perilaku aliran akibat variasi bukaan pintu dan variasi diameter butiran agregat terhadap konfigurasi dasar saluran berbahan dasar agregat kasar dengan diameter butiran yang bervariasi antara 0,5 - 1 cm, 1 - 2 cm, 2 - 3 cm dan tanpa agregat untuk bahan dasar saluran, variasi perlakuan diarahkan untuk mendapatkan data-data hasil percobaan yang nantinya dapat menggambarkan pengaruh aliran terhadap perubahan bentuk dasar saluran

B. Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan uji Laboratorium yang akan dilaksanakan pada Laboratorium Hidrolika, Program Studi Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia Makassar, Jl. Urip Sumoharjo No.km.5, Panaikang, Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231.

C. Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang di gunakan dalam penelitian ini, meliputi :

1. Model Saluran; Merupakan model alat saluran terbuka yang berbentuk persegi guna melakukan simulasi kondisi saluran terbuka pada skala laboratorium.
2. Meja Hidrolis; Meja hidrolis digunakan sebagai reservoir utama untuk menyuplai air ke model saluran terbuka. Selain itu, alat ini berfungsi untuk kalibrasi debit aliran agar sesuai dengan kebutuhan percobaan.
3. Air Sebagai Media Aliran; Air digunakan sebagai fluida utama dalam pengujian, yang dialirkan melalui penampang saluran untuk mensimulasikan aliran nyata pada saluran terbuka.
4. Media Dasar Saluran (Agregat); Dasar saluran dilapisi dengan material agregat yang divariasikan dalam tiga ukuran berbeda. Variasi ini digunakan untuk mengamati pengaruh kekasaran dasar terhadap koefisien aliran dan parameter hidraulik lainnya.



Gambar 1 Agregat Ukuran 0,5-1, Agregat Ukuran 1-2 dan Agregat Ukuran 2-3

5. Pengukuran Kedalaman Air; Kedalaman air dalam saluran diukur menggunakan penggaris skala atau alat pengukur kedalaman lainnya, dengan tujuan untuk mengatur dan memantau tinggi muka air serta kestabilan aliran.
6. Stopwatch; Stopwatch digunakan untuk mencatat waktu tempuh aliran pada panjang saluran tertentu, yang kemudian digunakan dalam perhitungan kecepatan aliran rata-rata.

7. Pelampung (Bola Pingpong); Bola pingpong dimanfaatkan sebagai pelampung penanda untuk melacak waktu tempuh aliran di permukaan air. Penggunaan benda ini bertujuan untuk membantu pengukuran kecepatan permukaan aliran secara visual.

D. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, persiapan saluran uji dilakukan dengan menggunakan variasi ukuran agregat sebagai dasar saluran. Dasar saluran diatur sedemikian rupa agar dapat meniru kondisi nyata yang sering dijumpai pada saluran terbuka, sehingga hasil yang diperoleh memiliki relevansi tinggi terhadap fenomena aliran di lapangan. Variasi ukuran agregat ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh karakteristik dasar saluran terhadap perilaku aliran yang terjadi. Pengaturan aliran dilakukan dengan mengendalikan debit air yang masuk ke saluran uji menggunakan pompa yang telah dikalibrasi sebelumnya. Aliran air dibiarkan mengalir hingga mencapai kondisi stabil sebelum dilakukan pengukuran, untuk memastikan bahwa data yang diperoleh menggambarkan keadaan aliran yang konstan dan representatif terhadap kondisi sebenarnya.

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan menggunakan metode sederhana dengan memanfaatkan bola pingpong sebagai penanda aliran dan stopwatch untuk menghitung waktu tempuh bola dalam jarak tertentu. Pengujian ini dilakukan pada beberapa variasi bukaan pintu saluran untuk setiap ukuran agregat dasar yang digunakan, sehingga dapat diketahui hubungan antara variasi kontrol aliran dengan kecepatan yang dihasilkan pada karakteristik dasar saluran yang berbeda.

Selain itu, pengukuran kedalaman aliran dilakukan di beberapa titik pada penampang saluran dengan menggunakan terameter. Data kedalaman ini berfungsi untuk menghitung luas penampang basah dan keliling basah yang menjadi parameter penting dalam analisis hidraulika saluran terbuka. Kombinasi data kecepatan dan kedalaman aliran yang diperoleh dari pengujian ini akan digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran agregat terhadap karakteristik aliran pada saluran uji.

E. Variabel dan Metode Analisis Data

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas mencakup debit air yang masuk ke saluran (Q), variasi bukaan pintu, serta ukuran butiran agregat yang digunakan sebagai dasar saluran. Variabel-variabel ini diatur untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik aliran yang terjadi di dalam saluran uji. Sementara itu, variabel terikat dalam penelitian ini adalah koefisien kekasaran saluran, yang menjadi parameter utama untuk menilai dampak perubahan kondisi aliran akibat variasi debit, bukaan pintu, dan karakteristik dasar saluran tersebut.

Metode analisis data dilakukan setelah seluruh pengujian di laboratorium selesai dilaksanakan. Data yang diperoleh, meliputi kecepatan aliran, kedalaman aliran, serta parameter hidraulika lainnya, diolah menggunakan pendekatan analitis sesuai parameter yang telah ditentukan. Proses analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memetakan hubungan antara variasi bukaan pintu dan ukuran butiran agregat terhadap nilai koefisien kekasaran saluran, sehingga dapat diperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai pengaruh kondisi fisik dasar saluran dan pengaturan aliran terhadap karakteristik aliran yang terbentuk.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Luas Penampang Basah

Berdasarkan hasil praktikum yang dilakukan secara langsung di Laboratorium Hidrolika, diperoleh bahwa saluran yang digunakan memiliki bentuk penampang persegi. Untuk menentukan luas penampang basah, dilakukan pengukuran langsung terhadap dimensi saluran, yaitu lebar dasar dan tinggi muka air. Pengukuran ini bertujuan untuk memperoleh data geometri yang akurat sebagai dasar perhitungan parameter hidraulik seperti kecepatan aliran, debit, dan koefisien kekasaran. Maka luas penampang basah saluran yaitu sebagai berikut:

$$A = b \times h \quad (1)$$

$$A = 0,073 \times 0,055 = 0,0042 \text{ m}$$

Berikut ini hasil perhitungan luas penampang basah dengan menggunakan Persamaan 1.

Tabel 1 Luas Penampang Basah dengan Agregat 2-3

Tinggi Bukaannya Pintu	Lebar Dasar Saluran (b)	Tinggi Muka Air (h)	Luas Penampang Basah (A)
cm	m	m	m
1	0.073	0.055	0.00402
2	0.073	0.057	0.00416
3	0.073	0.060	0.00438

Pada saluran dengan agregat berukuran 1–2 cm, luas penampang basah berturut-turut sebesar 0,00445 m² untuk bukaan pintu 1 cm, 0,00445 m² untuk bukaan 2 cm, dan meningkat menjadi 0,00467 m² pada bukaan 3 cm. Sementara itu, pada saluran dengan agregat berukuran 0,5–1 cm, luas penampang basah yang dihasilkan sebesar 0,00474 m² pada bukaan pintu 1 cm, tetap sama yaitu 0,00474 m² pada bukaan 2 cm, dan meningkat menjadi 0,00496 m² pada bukaan 3 cm.

Dari nilai tersebut, dapat dilihat bahwa Luas Penampang Basah beragam ini dipengaruhi oleh tinggi muka air di mana tinggi muka air dipengaruhi juga oleh debit pada saat melakukan kalibrasi

B. Keliling Basah

Keliling basah merupakan panjang total dari sisi penampang saluran yang bersinggungan langsung dengan aliran air, yang diukur pada penampang tegak lurus terhadap arah aliran. Pada saluran berbentuk persegi, keliling basah diperoleh dari penjumlahan antara lebar dasar saluran dan dua kali kedalaman aliran, karena sisi samping dan dasar saluran seluruhnya berinteraksi dengan air. Perhitungan keliling basah untuk saluran tanpa perlakuan dilakukan menggunakan Persamaan 2 berikut.

$$P = (2 \times b) + (2 \times h) \quad (2)$$

$$P = (2 \times 0,0073) \times (2 \times 0,055) = 0,2560 \text{ m}$$

Berikut ini perhitungan keliling basah dengan menggunakan metode Persamaan 2.

Tabel 2 Luas Keliling Basah Saluran dengan Agregat 2-3

Tinggi Bukaannya Pintu	Lebar Dasar Saluran (b)	Tinggi Muka Air (h)	Keliling Basah (P)
cm	m	m	m
1	0.073	0.055	0.2560
2	0.073	0.057	0.2600
3	0.073	0.060	0.2660

Dengan menggunakan persamaan dan cara yang sama, dilakukan perhitungan luas keliling basah saluran dengan agregat 1-2 dan agregat 0,5-1. Hasil perhitungan keliling basah saluran diperoleh berdasarkan data lebar dasar saluran dan tinggi muka air pada setiap variasi bukaan pintu. Untuk saluran dengan agregat berukuran 1–2 cm, keliling basah yang dihasilkan adalah sebesar 0,2680 m pada bukaan pintu 1 cm dan 2 cm, kemudian meningkat menjadi 0,2740 m pada bukaan pintu 3 cm. Sementara itu, pada saluran dengan agregat berukuran 0,5–1 cm, keliling basah yang diperoleh mencapai 0,2760 m pada bukaan pintu 1 cm dan 2 cm, serta meningkat menjadi 0,2820 m pada bukaan 3 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi ukuran agregat dan tinggi bukaan pintu mempengaruhi panjang keliling basah saluran, di mana ukuran agregat yang lebih kecil cenderung menghasilkan nilai keliling basah yang lebih besar pada kondisi bukaan pintu yang sama.

C. Jari-jari Hidrolik

Jari-jari hidrolik didefinisikan sebagai perbandingan antara luas penampang aliran yang terisi air dengan keliling basah, yaitu panjang batas penampang yang bersentuhan langsung dengan aliran. Konsep ini digunakan secara luas dalam analisis aliran baik pada saluran terbuka maupun tertutup. Untuk saluran dengan penampang berbentuk persegi, nilai jari-jari hidrolik dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$R = \frac{A}{P} \quad (3)$$

$$R = \frac{0,0042}{0,2560} = 0,0157 \text{ m}$$

Berikut ini perhitungan jari-jari hidrolik dengan menggunakan **Persamaan 3**.

Tabel 3 Jari-Jari Hidrolik Saluran dengan Agregat Saluran dengan Agregat 2-3

Luas Penampang Basah (A)	Keliling Basah (P)	Jari-Jari Hidrolik (R)
m	m	m
0.00402	0.2560	0.0157
0.00416	0.2600	0.0160
0.00438	0.2660	0.0165

Dengan menggunakan persamaan dan cara yang sama, dilakukan perhitungan jari-jari hidrolik saluran dengan agregat 1-2 dan agregat 0,5-1. Hasil perhitungan jari-jari hidrolik saluran diperoleh dengan menggunakan data luas penampang basah dan keliling basah pada masing-masing variasi agregat. Pada saluran dengan agregat berukuran 1–2 cm, nilai jari-jari hidrolik yang dihasilkan adalah 0,0166 m pada bukaan pintu pertama dan kedua, serta meningkat menjadi 0,0171 m pada bukaan pintu ketiga. Sementara itu, pada saluran dengan agregat berukuran 0,5–1 cm, jari-jari hidrolik yang diperoleh adalah 0,0172 m pada bukaan pintu pertama dan kedua, dan meningkat menjadi 0,0176 m pada bukaan pintu ketiga. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi ukuran agregat mempengaruhi nilai jari-jari hidrolik, di

mana agregat dengan ukuran lebih kecil cenderung menghasilkan nilai jari-jari hidrolis yang sedikit lebih besar dibandingkan agregat berukuran lebih besar pada kondisi bukaan pintu yang sama.

D. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran merupakan parameter yang menunjukkan seberapa jauh suatu fluida bergerak dalam satuan waktu tertentu. Dalam konteks saluran terbuka seperti sungai, kanal, maupun drainase, kecepatan aliran menggambarkan laju pergerakan partikel air melewati penampang saluran. Untuk menentukan nilai kecepatan aliran, digunakan **Persamaan 4** sebagai berikut:

$$v = \frac{s}{t} \quad (4)$$

$$v = \frac{1}{2,160} = 0,4630 \text{ m/s}$$

Berikut ini perhitungan kecepatan aliran dengan menggunakan **Persamaan 4**.

Tabel 4 Kecepatan Aliran Saluran dengan Agregat 2-3

Jarak	Tinggi Bukaan Pintu	Waktu (t)					Waktu Rata-Rata (tr)	Kecepatan Aliran (v)
		t1	t2	t3	t4	t5		
<i>m</i>	<i>cm</i>	<i>s</i>	<i>s</i>	<i>s</i>	<i>s</i>	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>m/s</i>
1	1	2.13	2.19	2.14	2.17	2.17	2.160	0.4630
1	2	2.20	2.25	2.23	2.21	2.23	2.224	0.4496
1	3	2.35	2.35	2.36	2.37	2.36	2.358	0.4241

Dengan menggunakan persamaan dan cara yang sama, dilakukan perhitungan kecepatan aliran saluran dengan agregat 1-2 dan agregat 0,5-1. Hasil pengukuran kecepatan aliran saluran menunjukkan adanya variasi nilai yang dipengaruhi oleh tinggi bukaan pintu dan ukuran agregat dasar saluran. Pada saluran dengan agregat berukuran 1–2 cm, diperoleh waktu rata-rata tempuh bola pingpong masing-masing sebesar 2,312 detik pada bukaan pintu 1 cm dengan kecepatan aliran 0,4325 m/s, 2,292 detik pada bukaan 2 cm dengan kecepatan 0,4363 m/s, dan 2,404 detik pada bukaan 3 cm dengan kecepatan 0,4160 m/s. Sementara itu, pada saluran dengan agregat berukuran 0,5–1 cm, waktu rata-rata tempuh yang tercatat adalah 2,480 detik pada bukaan pintu 1 cm dengan kecepatan 0,4032 m/s, 2,436 detik pada bukaan 2 cm dengan kecepatan 0,4105 m/s, dan 2,672 detik pada bukaan 3 cm dengan kecepatan 0,3743 m/s.

E. Debit Aliran

Debit aliran, yang di lambangkan dengan symbol *Q* diartikan sebagai volume fluida yang mengalir melalui suatu penampang tertentu dalam satuan waktu, satuan yang umum digunakan adalah m³. Untuk mendapatkan debit aliran dapat digunakan persamaan berikut:

$$Q = A \times v \quad (5)$$

$$Q = 0,042 \times 0,4630 = 0,00186 \text{ m}^3/\text{s}$$

Berikut ini debit aliran dengan menggunakan **Persamaan 5**.

Tabel 5 Debit Aliran Saluran dengan Agregat 2-3

Luas Penampang Basah (A)	Kecepatan Aliran (v)	Debit (Q)
<i>m</i>	<i>m/s</i>	<i>m/s</i>
0.00402	0.4630	0.00186
0.00416	0.4496	0.00187
0.00438	0.4241	0.00186

F. Analisis Koefisien Chezy Terhadap Kekasaran Permukaan

Penentuan koefisien Chezy (C) menjadi penting dalam analisis karakteristik hidraulik saluran, karena nilai C berkaitan langsung dengan kemampuan saluran dalam menghantarkan aliran dan dipengaruhi oleh kondisi kekasaran permukaannya. Dalam penelitian ini, karena kemiringan dasar saluran yang digunakan adalah 0%. Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan kolaborasi antara rumus Manning dan Chezy.

Dengan mengetahui nilai jari-jari hidraulik (R) dan koefisien kekasaran permukaan (n) dari masing-masing kondisi agregat, maka nilai koefisien Chezy dapat dihitung. Pendekatan ini memungkinkan analisis terhadap pengaruh variasi ukuran agregat terhadap performa hidraulik saluran melalui parameter C, meskipun kemiringan dasar saluran bernilai nol. Adapun perhitungan menggunakan **Persamaan 6** berikut:

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

$$C = \frac{1}{0,036} \cdot 0,0157^{1/6} = 13,90$$

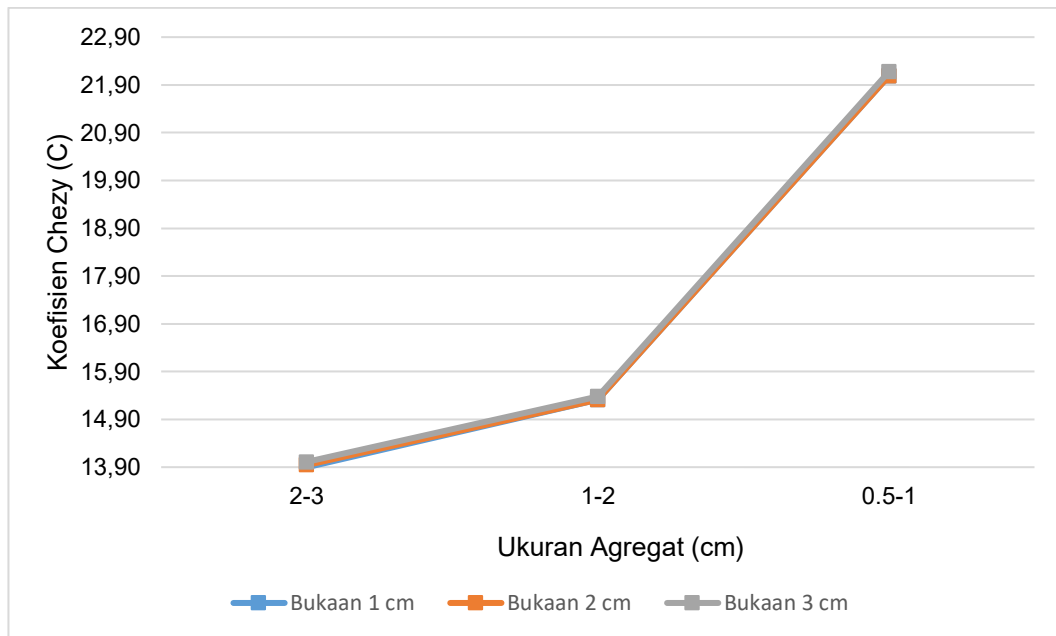
Tabel 6 Persamaan Koefisien Chezy Pada Saluran dengan Agregat 2-3

Kecepatan Aliran (v)	Jari-Jari Hidrolik (R)	Koefisien Kekasaran	Koefisien Chezy
<i>m/s</i>	<i>m</i>	(n)	(C)
0.4630	0.0157	0.036	13.90
0.4496	0.0160	0.036	13.94
0.4241	0.0165	0.036	14.01

Hasil perhitungan koefisien Chezy menunjukkan perbedaan yang signifikan antara saluran dengan agregat berukuran 1–2 cm dan agregat berukuran 0,5–1 cm. Pada saluran dengan agregat 1–2 cm, nilai kecepatan aliran tercatat sebesar 0,4325 m/s, 0,4363 m/s, dan 0,4160 m/s, dengan jari-jari hidrolik masing-masing 0,0166 m, 0,0166 m, dan 0,0171 m. Berdasarkan nilai koefisien kekasaran (n) sebesar 0,033, diperoleh nilai koefisien Chezy masing-masing 15,31; 15,31; dan 15,37.

Sementara itu, pada saluran dengan agregat berukuran 0,5–1 cm, kecepatan aliran yang tercatat adalah 0,4032 m/s, 0,4105 m/s, dan 0,3743 m/s dengan jari-jari hidrolik sebesar 0,0172 m, 0,0172 m, dan 0,0176 m. Dengan koefisien kekasaran (n) sebesar 0,023, diperoleh nilai koefisien Chezy sebesar 22,09; 22,09; dan 22,18.

Hasil ini mengindikasikan bahwa saluran dengan agregat berukuran lebih kecil (0,5–1 cm) memiliki nilai koefisien Chezy yang lebih tinggi dibandingkan agregat berukuran lebih besar (1–2 cm). Hal ini menunjukkan bahwa aliran pada dasar saluran dengan agregat berukuran lebih halus cenderung memiliki tingkat kekasaran yang lebih rendah, sehingga menghasilkan aliran yang relatif lebih efisien dengan hambatan gesekan yang lebih kecil.



Gambar 2 Grafik Hubungan Ukuran Agregat dengan Nilai Koefisien Chezy

Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa ukuran butir agregat yang digunakan pada permukaan dasar saluran dapat memberi dampak pada perubahan nilai koefisien C , nilai rata-rata tertinggi didapatkan pada agregat ukuran 0,5-1, disusul dengan agregat 1-2 dan nilai koefisien terkecil pada agregat yang berukuran 2-3.

G. Pembahasan

Studi ini bertujuan untuk menganalisis dampak kekasaran permukaan saluran terhadap nilai koefisien Chezy (C) melalui metode eksperimental di laboratorium hidrolika. Variabel kunci dalam pengujian terdiri dari tiga variasi ukuran agregat di dasar saluran (0,5–1 cm, 1–2 cm, dan 2–3 cm) serta tiga variasi bukaan pintu saluran, yang berpengaruh pada tinggi muka air dan kecepatan aliran.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, setiap perpaduan antara variasi agregat dan bukaan pintu menghasilkan variasi pada sifat aliran seperti kecepatan, area penampang basah, dan radius hidraulik. Kemudian dihitung menggunakan rumus penurunan antara Manning dan Chezy dihitung yang kemudian dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh kekasaran terhadap kinerja hidraulik saluran.

Berdasarkan grafik yang ditampilkan, dapat disimpulkan bahwa ukuran butir agregat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai koefisien C . Nilai rata-rata paling tinggi diperoleh pada agregat dengan ukuran 0,5-1 cm yaitu 22,09 ; 22,09 ; dan 22,18 pada masing masing bukaan, yang menunjukkan efisiensi aliran terbaik di antara tiga variasi tersebut. Kemudian, nilai C yang sedikit lebih rendah terdeteksi pada agregat berukuran 1-2 cm yaitu 15,31 ; 15,31 ; dan 15,37, dan nilai terendah dicatat pada agregat berukuran 2–3 cm yaitu 13,90 ; 13,94 ; dan 14,01.

Selain itu, grafik juga menampilkan bahwa variasi ukuran bukaan pintu berdampak langsung pada peningkatan nilai C . Semakin lebar bukaan pintu, semakin tinggi nilai koefisien Chezy yang dihasilkan. Hal ini terjadi akibat bertambahnya debit dan kedalaman aliran yang berperan dalam peningkatan jari-jari hidraulik dan kecepatan aliran, sehingga mengakibatkan nilai C meningkat secara linier. Grafik 4.1 dengan jelas menunjukkan hubungan linier antara sudut bukaan pintu dan nilai koefisien.

Secara keseluruhan, hasil uji menunjukkan bahwa koefisien kekasaran saluran dipengaruhi tidak hanya oleh jenis material permukaan, tetapi juga oleh kondisi hidraulik seperti kedalaman dan kecepatan aliran yang ditunjukkan oleh bukaan pintu. Penemuan ini mendukung prinsip fundamental bahwa aliran di saluran terbuka sangat peka terhadap variasi kekasaran relatif serta ukuran penampang aliran.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi ukuran agregat pada dasar saluran terbuka berpengaruh langsung terhadap nilai koefisien kekasaran yang memengaruhi karakteristik aliran. Melalui pendekatan gabungan rumus Manning dan Chezy, terlihat bahwa perbedaan ukuran butiran agregat menghasilkan variasi nilai koefisien Chezy, di mana agregat berukuran lebih kecil (0,5–1 cm) cenderung memberikan nilai C yang lebih tinggi dibandingkan agregat berukuran lebih besar. Selain itu, variasi bukaan pintu juga berperan penting dalam menentukan nilai koefisien Chezy, di mana peningkatan bukaan pintu meningkatkan kedalaman dan kecepatan aliran, sehingga memperbaiki efisiensi aliran terhadap permukaan dasar saluran. Temuan ini memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai hubungan antara kekasaran permukaan saluran dan karakteristik aliran, yang dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam perencanaan dan pengelolaan saluran terbuka untuk meningkatkan kinerja hidroliknya..

5. DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, T., Musa, R., & Mallombassi, A. (2022). Analisis Kebutuhan Air Irigasi Akibat Perubahan Tata Guna Lahan. *Jurnal Flyover*, 2(2), 66–75. <https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1343>
- Agustin, A., Wiratama N.S., Yatmin. 2018. Dampak Pembangunan Bendung Gerak Waru Turi Terhadap Sosial Ekonomi Masyarakat Desa Gampeng Kecamatan Gampengrejo Kabupaten Kediri. Kediri: Universitas Nusantara PGRI Kediri
- Ali, M.H., El Ghendy, M.M., Mirdan Hasan, A.M., Ali, M.H.A.A., Abdelhaleem, F.S.F., 2014, Minimizing downstream scour due to submerged hydraulic jump using corrugated aprons, *Ain Shams Engineering Journals*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2014.07.007>
- Ali, P., & Johnnie, B. (2017). Determining Level of Service for Multilane Median Opening Zone Determining Level of Service for Multilane Median Opening Zone. *International Research and Innovation Summit*, 226, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/226/1/01203>
- Al-Mansori, N., 2014. Hydraulic Characteristics of a Rectangular Weir Combined with Equal and Unequal Size Three Rectangular Bottom Openings. *International Journal of Computational Engineering Research*, 4(1), pp. 13-29.
- Alwi, M., Musa, R., & Ashad, H. (2023). Kajian Debit Banjir Sungai Terhadap Kala Ulang Pada Sungai Lahumbuti Kabupaten Konawe Provinsi Sulawesi Tenggara. *Journal Of Social Science Research*, 3(3), 1–11. <https://jinnovative.org/index.php/Innovative/article/download/3182/2262/4754>
- Artia, Fatima. 2018. Analisis Karakteristik Sedimen dan Laju Sedimentasi Sungai Walanae Kabupaten Wajo. Tugas Akhir. Fakultas Teknik. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Ataur Rahman, M. & Abdul Matin, M., 2010. Numerical Modelling of Bed Level Changes of Alluvial River. *Journal of Civil Engineering*, 38(1), pp. 53-64.
- Balachandar, R., and Kells, J.A., 1997, Local channel scour in uniformly graded sediments: the time-scale problem, *Canadian Journals of Civil Engineering*. Vol. 24. pp (799-807)

- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juwana. Review Desain Daerah Irigasi Glapan Timur. Semarang, 2016.
- Bartholdy, J., Flemming, B., Bartholoma, A. & Ernstsens, V., 2005. Flow and Grain Size Control of Depth-independent Simple Subaqueous Dunes. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 110, pp. 1-12.
- Basri, N. 2018. Studi laju Sedimentasi Bagian Hilir Sungai Saddang. Skripsi. Fakultas Teknik. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Belaud, G., Cassan, L. & Baume, J., 2009. Calculation of Contraction Coefficient under Sluice gate and Application to Discharge Measurement. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 135, No. 12, pp. 1086-1091.
- Bos, M.G., 1978. Discharge Measurement Structures. *International of Land Reclamation and Improvement*. Wageningen, The Netherlands Breusers, H. & Raudkivi, A., 1991. Scouring. Rotterdam, Netherland, A.A. Balkema.
- Church, M., 2006. Bed Material Transport and The Morphology of Alluvial River Channels. *Annual Review Earth Planet Science*, pp. 325-354.
- Dali, A. S. A., Pendang, A. ., & Musa, R. . (2023). Uji Tingkat Erosi Tanah dengan Variasi Intensitas Curah Hujan Menggunakan Alat Rainfall Simulator: Studi Kasus Daerah Rawan Erosi Desa Harapan, Tanete Riaja, Barru. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 3(1), 55–66. <https://doi.org/10.56860/jtsda.v3i1.14>
- Dermawan, V., 2011. Model aliran pada bendung bertangga. Dissertation of Doctoral Degree, Institute Technology of Sepuluh November.
- Erdbrink, C., Krzhizhanovskaya, V. & Sloot, P., 2012. Free Surface Flow Simulations for Discharge Based Operation of Hydraulic Structure Gate, Amsterdam, Netherland: Leading Scientist Program of The Russian Federation.
- Farhoudi, J. & Shayan, H. K., 2014. Investigation on Local Scour Downstream of Adverse Stilling Basin. *Ain Shams Engineering Journal*, Vol. 5, pp. 361-375.
- Fenton, J., 2011. *River Engineering*, Vienna: Institute of Hydraulics and Water Resources Engineering.
- Friedrich, H., Coleman, S., Melville, B. & Clunie, T., 2004. Development of Discrete Subaqueous Bed Forms, Auckland River Flow. Vol. 13, No. 1, pp. 52-62
- Goel, A., 2010. Scour Investigations Behind a Sluice Gate Without Apron. *The Pacific Journal of Science and Technology*, Vol. 11, No. 2, pp. 59-65.
- Graf, W. H., 1984. *Hydraulics of Sediment Transport*. Littleton, Colorado: Water Resources Publication.
- Graf, W. H., 1998. *Fluvial Hydraulics, Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geometry*. New York: John Wiley and Sons.
- Habibzadeh, A., Vatankhan, A. & Rajaratnam, N., 2011. Rule of Energy Loss on Discharge Characteristic of Sluice Gate. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(9), pp. 1079-1084.
- Haikal, A., Musa, R., & Sar, M. (2023). "Model Sedimentasi Dengan Menggunakan Aplikasi Hec-Ras" (Studi Kasus : Sungai Pappa Kab. Takalar). *Journal Of Social Science Research*, 3(3), 1–10. <http://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/3092>
- Hamidifar, H., 2011. Interrelationships between Characteristic Lengths of Local Scour. *International Transaction Journal of Engineering, Management & Applied Science & Technologies*, pp. 355-364.
- Hamidifar, H., Omid, M.H., and Nasrabadi, M., 2011, Scour Downstream of a Rough Rigid Apron, *World Applied Sciences Journals*. Vol. 14, No. 8. pp. 1169-1178
- Hanafiah, K. A., 2013. Sifat-sifat dasar tanah. Dalam: *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Jakarta: PT Radja Grafindo Persada.
- Hardjowigeno, S., 2003, *Ilmu Tanah*, Edisi Pertama, Akademika Presindo, Jakarta

- Harmayani, K.D, Konsukartha, G.M, Permana, I.B.D. 2015. Analisis Tingkat Erosi dan Sedimentasi di Danau Buyan. Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 9. Jurusan Teknik Sipil. Denpasar: Universitas Udayana.
- Henderson, F., 1966. Open Channel Flow. 1st penyunt. New York: The Macmillan Co.
- Hidayat, M. I., Hadi, A. K., & Musa, R. (2022). Kelayakan Proyek Pembangunan Jaringan Irigasi Daerah Irigasi (DI) Teko Kabupaten Sinjai. *Jurnal Flyover*, 2(2), 86–98. <https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1346>
- Holmes, R. R. & Garcia, M., 2008. Flow Over Bedforms in a Large Sand-bed River: A Field Investigation. *Journal of Hydraulics Research*, Vol. 46, No. 3, pp. 322-333.
- Hopfinger, E.J., Kurniawan, A., Graf, W.H., and Lemmin, U., 2004, Sediment Erosion by Gortler vortices: the scour-hole problem. *Journals of Fluid Mechanics*. Vol. 520, pp 327- 342.
- Julien, P. & Klaassen, G., 1995. Sand Dune Geometry of Large River During Floods. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No. 9, pp. 657-663.
- Julien, P. & Raslan, Y., 1998. Upper Regime Plane Bed. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 124, No. 11, pp. 1086-1096.
- Kasrawawi, Musa, R., & Mallombassi, A. (2022). Perbaikan Alur Sungai Akibat Debit Banjir. *Jurnal Flyover*, 2(1), 48–55. <https://doi.org/10.52103/JFO.V2I1.871>
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Irigasi Dan Rawa. 2013. “Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (Heat Works) KP-02”. Jakarta.
- Kothyari, U. C. & Jain, R. K., 2010. Erosion Characteristics of Cohesive Sediment Mixtures. *River Flow*, pp. 815-821.
- Kurniawati, A., Musa, R., Mallombassi, A., & Wellang, M. (2021). Kajian Debit Banjir di Wilayah Sungai Saddang Kabupaten Pinrang Sulawesi Selatan dengan Menggunakan Grafik Creager. *Jurnal Flyover*, 1(2), 1–7. <https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.755>
- Li, F. et al., 2013. Probabilistic Modelling of Wave Climate and Predicting Dune Erosion. *Journal of Coastal Research*, No. 65, pp. 760-765.
- Maddi, H. C., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Kajian Pengendalian Banjir dengan Menggunakan Waduk Regulasi. *Jurnal Flyover*, 1(1), 21–32. <https://doi.org/10.52103/JFO.V1I1.658>
- Mohamad, I., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Petugas Operasi dan Pemeliharaan dalam Pengelolaan Operasi Jaringan Irigasi. *Jurnal Flyover*, 1(2), 48–59. <https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.750>
- Musa, R., Mallombassi, A., SAR, M., Anri, A. N. A., & Alamsyah, L. O. M. (2020). Tinjauan Perencanaan Kebutuhan Air Baku Pandang – Pandang Kabupaten Gowa. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 5(1), 1–10. <https://ojs.unanda.ac.id/index.php/jiit/index>
- Pania, H.G, Tangkudung. H, Kawet, L, Wuisan, E.M. 2013. Perencanaan Sistem Drainase Kawasan Kampus Universitas Sam Ratulangi. Fakultas Teknik, Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Putra, I.F.G. 2019. Evaluasi Kantong Lumpur di Bendung Karangtalun. Tugas Akhir. Fakultas Teknik dan Perencanaan, Sleman: Universitas Islam Indonesia.
- Qasim, M., Musa, R., & As’ad, H. (2023). Kajian Kinerja Pengelolaan Irigasi Oleh Perkumpulan Petani Pemakai Air Pada Daerah Irigasi Wawotobi Kab. Konawe. *JIMPS: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Sejarah*, 8(3), 2324–2336. <https://doi.org/10.24815/jimps.v8i3.25722>
- Rizal, R. (2023). Kajian Potensi Pemanfaatan Air Tanah Berdasarkan Data Geolistrik Resistiviti untuk Air Baku. *Jurnal Flyover*, 3(2), 120–128. <https://doi.org/10.52103/JFO.V3I2.1637>
- Safrudin, M.S, Aisyin, Y. 2022. Perencanaan Bendung Glapan Kec Gubug Kab Grobogan. Tugas Akhir. Fakultas Teknik, Semarang : Universitas Sema