JOURNAL FLYOVER (JFO)
Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana UMI

Vol. 04, No. 01 Tahun 2024
E-ISSN: 2829-5684

Kajian Koefisien Limpasan Penutup Lahan dengan Perkerasan Aspal (Uji Laboratorium)

M. Fikri Wahyuddin S [1*], Ratna Musa [2], Hanafi Ashad [3]

1*) Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang, Kementerian Pekerjaan Umum, fikrywahyudin@gmail.com
2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar
3) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

The surface runoff coefficient (C) is an important parameter in hydrological studies, influenced by surface type and rainfall intensity. This study aims to determine the surface runoff coefficient (C) on asphalt surfaces with varying slopes of 2%, 3%, and 4%, using an artificial rainfall intensity of 145.4914 mm/hour. Testing was conducted in a laboratory using a rainfall simulator. The parameters tested included rainfall intensity, the time the flow began (the time of inundation), and the resulting runoff volume. The test results showed that the greater the surface slope, the flow coefficient value tended to increase. The flow coefficient value obtained for a 2% slope was 0.0822, for a 3% slope it was 0.0833, and for a 4% slope it was 0.0840. The ratio of the surface runoff coefficient (C) between the 2% and 3% slopes was 1.31%, and 0.83% between the 3% and 4% slopes.

Keywords: Asphalt Surface, Rainfall Intensity, Rainfall Simulator, Runoff Coefficient, Surface Slope.

Abstrak

Koefisien aliran permukaan (C) merupakan salah satu parameter penting dalam kajian hidrologi, yang dipengaruhi oleh jenis permukaan dan intensitas hujan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai koefisien aliran permukaan (C) pada media permukaan aspal dengan variasi kemiringan sebesar 2%, 3%, dan 4%, menggunakan intensitas hujan buatan sebesar 145,4914 mm/jam. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat rainfall simulator. Parameter yang diuji meliputi intensitas hujan, waktu aliran mulai terjadi (waktu tergenangnya aliran), dan volume limpasan yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan permukaan, nilai koefisien aliran cenderung meningkat. Nilai koefisien aliran yang diperoleh untuk kemiringan 2% sebesar 0.0822, untuk kemiringan 3% sebesar 0.0833, dan untuk kemiringan 4% sebesar 0.0840. Didapatkan perbandingan koefisien aliran permukaan (C) antara kemiringan 2% dan 3% sebesar 1.31%, dan 0.83% antara kemiringan 3% dan 4%.

Kata kunci: Intensitas Hujan, Kemiringan Permukaan, Koefisien Aliran, Permukaan Aspal, Rainfall Simulator.

1. PENDAHULUAN

Kurangnya lahan resapan yang terjadi saat ini sering menyebabkan masalah genangan. Genangan sendiri ini terjadi karena menurunnya infiltrasi yang disebabkan banyaknya lahan serapan tertutup, intensitas hujan yang tinggi dan kemiringan lahan pada suatu lokasi yang tidak seimbang, juga memicu permasalahan tergenangnya air di dasar permukaan. Hal ini juga dapat menyebabkan lambatnya air hujan yang mengalir ke dasar resapan tanah di bawah sedangkan intensitas pada curah hujan yang tinggi membuat aliran permukaan menjadi berlebih dan menyebabkan banjir.

Penggunaan aspal beton konvensional sebagai lapisan penutup lahan (*land covering*) yang yang bersifat kedap air antara lain: *paving stone*, aspal, beton rabat, tembok penahan tanah dari bahan kedap dan lain sebagainya. Permukaan yang kedap air berdampak saat terjadi

hujan dengan intensitas tinggi menyebabkan terjadinya limpasan permukaan. Volume limpasan permukaan yang besar akan memicu terjadinya banjir. Air hujan yang tidak dapat meresap ke dalam tanah, saat musim kemarau akan mengurangi ketersediaan air.

Sebelum mencapai permukaan tanah, air hujan akan tertahan oleh vegetasi (intersepsi), sementara air hujan yang mampu mencapai permukaan tanah sebagian akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) hingga mencapai tingkat kapasitas lapang, dan sisanya akan melimpas melalui permukaan tanah (limpasan permukaan) menuju ke alur-alur sungai untuk kembali ke laut

Banyak air yang teresap oleh tanah sangat di tentukan oleh kecepatan infiltrasi, intensitas dan lamanya hujan serta ke dalam lapisan tanah yang mampu menyimpang air. Kecepatan infiltrasi sangat di pengaruhi oleh kondisi kejenuhan air yang ada sebelum terjadi hujan dan permeabilitas profil tanah di atas permukaan air tanah (*ground water level*). Bila tanah sudah jenuh air sebelum terjadinya hujan maka kecepatan infiltrasi sangat lambat dan mendekati nol sehingga sebagian besar hujan akan mengalir menjadi limpasan (*surface runoff*). Kecepatan infiltrasi tanah, kelembapan tanah, intensitas curah hujan, banyaknya curah hujan dan lamanya hujan biasanya menjadi faktor penentu yang sangat penting dalam menentukan kapasitas infiltrasi dan volume air limpasan .

Bambang Triatmodjo, (2010) menyatakan bahwa infiltrasi adalah aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Proses ini merupakan bagian yang sangat penting dalam daur hidrologi maupun dalam proses pengalihan hujan menjadi aliran air dalam tanah sebelum mencapai sungai. Infiltrasi (laju dan kapasitas infiltrasi) sangat di pengaruhi oleh berbagai variabel, di antaranya meliputi: jenis tanah, kemiringan lereng, kepadatan dan jenis vegetasi, kadar air tanah, dan intensitas curah hujan.

Kita ketahui Bersama bahwa Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. Jalan umum yakni jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum. Dalam penggunaan lahan ini, masih banyak penggunaan sarana dan prasarana yang tidak memperdulikan aliran air yang diakibatkan intensitas curah hujan yang tinggi. Akhirnya dapat menyebabkan kebanjiran atau tergenangnya air diatas permukaan sehingga dapat memperhambat kegiatan masyarakat luas.

Seperti yang disebutkan sebelumnya, bahwa salah satu solusi penyelesaian masalah genangan atau banjir yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi tersebut dengan cara mempercepat resapan air hujan ke dalam tanah, yaitu memperbesar laju resapan kedalam tanah, membuka pori pada lahan-lahan yang telah di tutupi oleh aspal khususnya aspal beton dengan cara mengganti dengan tutupan lahan yang lebih tepat, sehingga dapat mengurangi pelimpasan pada permukaan lahan yang digunakan.

Sehingga dengan masalah tersebut akan dilakukan penelitian suatu uji model laboratorium pengaruh variasi kemiringan lahan dan tutupan lahan terhadap nilai koefisien aliran permukaan (C) menggunakan *rainfall simulator*. Guna merangsang perubahan tata guna lahan pada wilayah yang kurang mempunyai lahan resapan dengan menggunakan objek aspal khususnya aspal kaku atau *rigid pavement*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan besaran nilai koefisien pengaliran (C) pada permukaan perkerasan aspal melalui pengujian laboratorium menggunakan rainfall simulator dan menganalisis pengaruh variasi kemiringan permukaan terhadap nilai koefisien pengaliran, serta membandingkan karakteristik limpasan yang terbentuk pada masing-masing tingkat kemiringan.

2. METODE

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia. Tahap awal penelitian berupa pemeriksaan bahan meliputi pemeriksaan atau pengujian terhadap bahan penyusun penutup lahan yakni aspal yang telah dibuat didalam cetakan. Bahan atau benda uji selesai dengan mengeluarkan sampel benda uji sesuai dengan prototipe Laboratorium, selanjutnya dilakukan pengujian simulasi curah hujan dengan satu intensitas menggunakan *Rainfall Simulator*.

B. Variabel Penelitian

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab terjadinya perubahan atau timbulnya variabel terikat (dependen). Dinamakan sebagai variabel bebas karena bebas dalam mempengaruhi variabel lain. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan yaitu kemiringan aspal dan intensitas hujan. Sementara itu, variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau variabel yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikat yang digunakan yaitu debit limpasan dan koefisien pengaliran.

C. Tahap Pengujian

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian koefisien pengaliran pada penutup lahan aspal dengan berbagai variasi kemiringan dan lama waktu hujan. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran intensitas hujan buatan. Pengukuran ini menggunakan cara *trial*, yaitu dengan mengubah besarnya debit, kecepatan putaran, dan *nozzle* yang dipakai. Hal ini akan diikuti dengan besarnya tekanan (bar) yang terdapat pada alat tersebut. Butir-butiran hujan yang masuk ke dalam alat *container* yang sudah diketahui luasnya (A) sehingga diketahui volume (V) dan waktunya (t). Percobaan ini dilakukan berulang kali hingga mendapatkan intensitas hujan besar.
2. Menyiapkan model penelitian kemudian meletakkan model ke dalam alat rainfall simulator.
3. Mengatur kemiringan model jalan dan mengatur besarnya intensitas yang akan digunakan dalam penelitian ini.
4. Menekan tombol hijau yang ada di samping alat *rainfall simulator* untuk menjalankan simulasi sesuai intensitas yang telah ditentukan.
5. Menjalankan hujan sesuai intensitas yang telah ditentukan dengan variasi lama hujan yang akan diteliti.
6. Mencatat volume limpasan yang terjadi pada permukaan aspal setiap 10 menit.
7. Apabila telah selesai, selanjutnya melakukan pencatatan data kemudian dilakukan pengujian kembali dengan mencoba variasi kemiringan lainnya.

D. Metode Analisis Data

Setelah pengujian maka dilanjutkan dengan menganalisa data yang telah diperoleh dari laboratorium dengan menggunakan parameter yang telah ditentukan untuk menghasilkan data yang diinginkan. Data tersebut diolah untuk memperoleh hubungan antara variasi kemiringan jalan dan lama hujan terhadap nilai koefisien C.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Intensitas Hujan

Pengukuran intensitas curah hujan pada alat *Rainfall Simulator* dilakukan melalui metode percobaan berulang (*trial and error*) hingga diperoleh nilai intensitas yang stabil. Prosedur perhitungan intensitas hujan dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Perhitungan Luas Penampang Wadah (Container) dihitung menggunakan **Persamaan 1**:

   $A = \pi r^2$ (1)

   dengan:

   r = jari-jari wadah (cm)

   π = 3,14

   Sehingga:

   $A = 3{,}14 \times 3{,}625^2 = 41{,}262\ cm$

2. Perhitungan Intensitas hujan dihitung menggunakan **Persamaan 2**:

   $I = \frac{V}{A \times t} \times 600$ (2)

   dengan:

   I = intensitas curah hujan (mm/jam)

   V = volume air yang tertampung (ml)

   A = luas penampang wadah (cm²)

   t = waktu pengukuran (menit)

   Kemudian dilakukan substitusi nilai:

   $I = \frac{108{,}40}{41{,}262 \times 15} \times 600 = 156{,}9801\ mm/jam$

Hasil pengukuran intensitas curah hujan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Intensitas Curah Hujan

No.	Waktu (Menit)	Volume (ml)					Volume Rata-Rata	Intesitas (mm/jam)	Keterangan
		V1	V2	V3	V4	V5			
1	10	64	127	149	110	92	108,40	156,9801	Motor Speed : 192 rev/min Liquid Flow : 12.5 L/min
2	10	65	87	95	130	143	104,00	150,6082	Motor Speed : 192 rev/min Liquid Flow : 12.5 L/min
3	10	62	106	98	129	139	89,00	128,8859	Motor Speed : 192 rev/min Liquid Flow : 12.5 L/min
		Intensitas Hujan Rata-Rata						145,4914	

Berdasarkan **Tabel 1**, parameter operasional simulator curah hujan telah disesuaikan dan dikalibrasi untuk dapat menghasilkan intensitas hujan sebesar 145,4914 mm/jam. Tingkat

intensitas ini diperoleh melalui pengaturan aliran nozel serta tekanan air, untuk menjamin bahwa distribusi hujan tersebar merata di seluruh area uji. Nilai intensitas itu mencerminkan kategori hujan lebat dan dipakai sebagai patokan tetap dalam semua skenario pengujian untuk memastikan konsistensi kondisi awal pada setiap perlakuan.

B. Analisis Volume Limpasan

Untuk mendapatkan nilai debit limpasan pada setiap variasi kemiringan permukaan perkerasan, dilakukan pengukuran volume limpasan yang terbentuk selama simulasi hujan. Pengukuran dilaksanakan setiap interval waktu 10 menit dengan memanfaatkan gelas ukur laboratorium untuk merekam akumulasi volume air limpasan secara teratur. Volume data limpasan ini menjadi dasar dalam perhitungan debit dan koefisien limpasan untuk setiap perlakuan kemiringan. Detail hasil pengukuran volume aliran disajikan pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2 Hasil Running Volume Limpasan (S = 2%)

Intensitas (mm/Jam)	luas penampang (A)	Waktu (Menit)	Kemiringan (%)	Limpasan	
				ml	m^3
145, 4914	0.2025	10	2	4025	0,004025
		20	2	4600	0,004600
		30	2	4630	0,004630
		40	2	4650	0,004650
		50	2	4700	0,004700
		60	2	4740	0,004740
		70	2	4700	0,004700
		80	2	4750	0,004750
		90	2	4780	0,004780
		100	2	4780	0,004780
		110	2	4720	0,004720
		120	2	4790	0,004790
Rata-rata			2	4655	0.004655

Pengukuran volume limpasan pada kemiringan lahan 3% menunjukkan adanya fluktuasi volume limpasan yang relatif stabil seiring dengan bertambahnya waktu pengukuran. Pada intensitas curah hujan sebesar 145,49 mm/jam dan luas penampang pengaliran sebesar 0,2025 m^2, volume limpasan yang tercatat pada menit ke-10 mencapai 4154 ml (0,004154 m^3). Nilai ini kemudian mengalami peningkatan secara bertahap hingga mencapai 4860 ml (0,004860 m^3) pada menit ke-120. Rata-rata volume limpasan selama periode pengamatan adalah sebesar 4717 ml atau setara dengan 0,004717 m^3. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan durasi hujan pada kemiringan 3% memberikan pengaruh terhadap bertambahnya volume aliran permukaan, meskipun laju peningkatannya mulai cenderung stabil setelah menit ke-60.

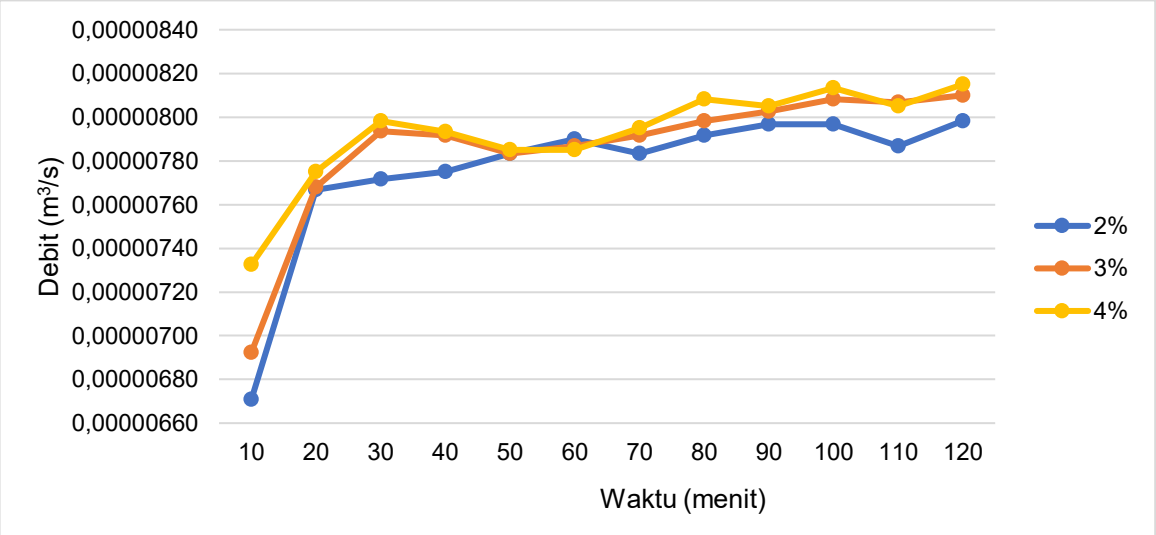
Sementara itu, pada kemiringan 4% dengan kondisi intensitas hujan dan luas penampang yang sama, volume limpasan yang terukur menunjukkan nilai awal sebesar 4395 ml (0,004395 m^3) pada menit ke-10. Seiring dengan bertambahnya waktu pengamatan, volume limpasan meningkat dan mencapai nilai maksimum sebesar 4890 ml (0,004890 m^3) pada menit ke-120. Nilai rata-rata volume limpasan yang tercatat pada kemiringan ini adalah 4755 ml atau setara dengan 0,004755 m^3. Peningkatan kemiringan dari 3% menjadi 4% terlihat memberikan efek positif terhadap kenaikan volume limpasan, meskipun secara keseluruhan perbedaannya tidak terlalu signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kemiringan lereng berperan dalam mempercepat aliran permukaan, namun pengaruhnya cenderung berkurang ketika mendekati kondisi jenuh pada media permukaan.

C. Analisis Debit Limpasan

Dengan menggunakan data volume limpasan yang diperoleh setiap interval 10 menit, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai debit limpasan pada setiap variasi kemiringan permukaan. Volume yang tercatat diubah menjadi debit dengan memperhatikan selang waktu pengukuran selama 600 detik (10 menit). Perhitungan ini memberikan ilustrasi tentang laju aliran air yang muncul akibat hujan simulasi di atas permukaan perkerasan. Perhitungan debit limpasan dilakukan dengan menggunakan rumus pada **Persamaan 3,** kemudian hasilnya ditampilkan pada **Gambar 1** :

$$Q = \frac{V}{t} \qquad (3)$$

$$Q = \frac{0{,}004395}{600} = 0{,}00000671\ m^3/s$$



Gambar 1 Hubungan Antara Debit Limpasan dengan Waktu Pengaliran pada Setiap Kemiringan

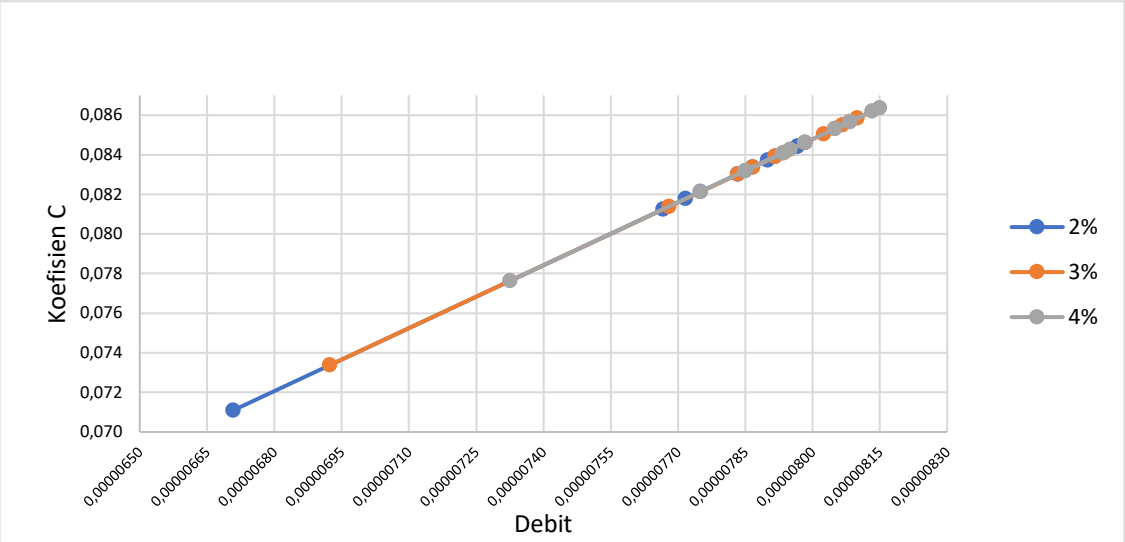
Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi sudut, semakin cepat dan besar jumlah debit limpasan yang dihasilkan. Dengan kemiringan 2%, debit bertambah perlahan dari 0,00000671 m³/s menjadi 0,00000798 m³/s dalam waktu 120 menit, menunjukkan proses limpasan yang lambat disebabkan oleh kemiringan yang rendah. Sebaliknya, pada sudut kemiringan 3% dan 4%, kenaikan debit berlangsung lebih cepat, masing-masing mencapai 0,00000810 m³/s dan 0,00000825 m³/s, dengan kestabilan debit mulai terlihat sejak menit ke-80 dan 70. Ini menunjukkan bahwa kemiringan yang lebih tajam mempercepat proses kejenuhan dan aliran permukaan, sehingga menghasilkan volume air yang lebih besar dalam durasi yang lebih singkat, menekankan pentingnya kemiringan dalam pengembangan limpasan

D. Analisis Koefisien Pengaliran

Analisis nilai koefisien pengaliran (koefisien limpasan) dilakukan untuk menilai seberapa besar proporsi air hujan yang mengalir pada permukaan setiap variasi kemiringan perkerasan. Untuk mendapatkan nilai koefisien ini, diperlukan data debit aliran, intensitas hujan, dan area bidang uji yang digunakan dalam setiap perlakuan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus pada **Persamaan 4,** kemudian hasilnya ditampilkan pada **Gambar 2.**

$$C = \frac{Q}{0{,}00278 \times I \times A} \quad (4)$$

$$C = \frac{0{,}00000671}{0{,}00278 \times 145{,}4914 \times 0{,}2025} = 0{,}71$$

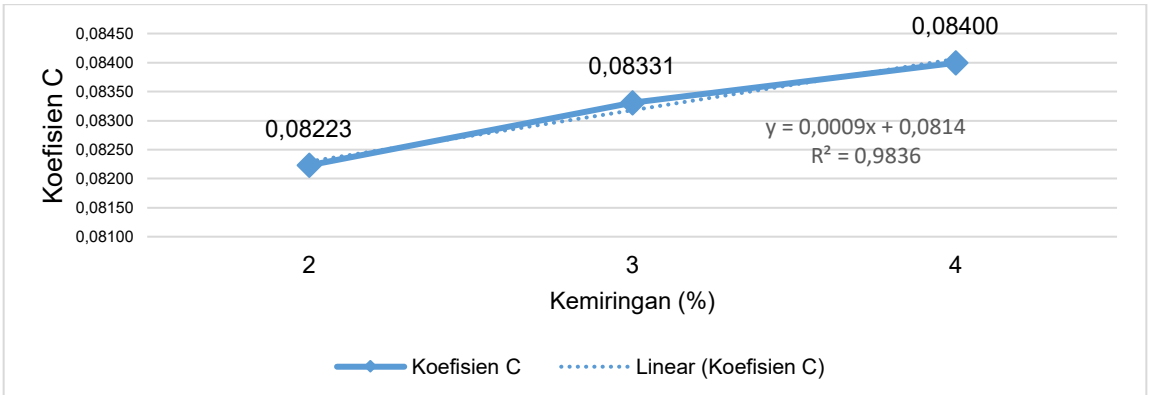


Gambar 2 Grafik Hubungan Antara Koefisien C Dengan Debit pada Setiap Kemiringan

Gambar 2 mengindikasikan bahwa nilai koefisien mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu pada setiap variasi kemiringan. Pada sudut kemiringan 2%, nilai C meningkat dari 0,071 dan mulai stabil pada nilai 0,084–0,085. Pada sudut 3%, nilai C berubah dari 0,073 dan mulai stabil di kisaran 0,085–0,086. Pada kemiringan 4%, nilai C mengalami peningkatan dari 0,078 hingga stabil pada rentang 0,085–0,086. Perbandingan ini mengindikasikan bahwa dengan meningkatnya kemiringan permukaan, nilai koefisien pengaliran cenderung bertambah dan juga mulai konstan seiring berjalannya waktu

E. Perbandingan Nilai Koefisien C Setiap Kemiringan

Perbandingan nilai koefisien pengaliran (C) pada sudut kemiringan permukaan 2%, 3%, dan 4% bertujuan untuk memahami dampak variasi kemiringan terhadap nilai C yang menunjukkan efisiensi aliran permukaan akibat hujan. Adapun nilai koefisien rata—rata dapat dilihat dalam **Gambar 3**.



Gambar 3 Perbandingan Nilai Rata-Rata Koefisien C pada Setiap Kemiringan

Gambar 3 menunjukkan nilai rata-rata koefisien pengaliran (C) pada sudut kemiringan permukaan 2%, 3%, dan 4%. Nampak bahwa nilai C menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya kemiringan, yaitu dari 0,95 pada kemiringan 2%, menjadi 0,96 pada 3%, dan 0,97 pada 4%. Dari data tersebut diketahui persentase selisih antara koefisien pengaliran kombinasi eksperimen dan koefisien pengaliran kombinasi rumus pada **Tabel 3**

Tabel 3 Selisih antara Koefisien Pengaliran pada Setiap Kemiringan

Kemiringan (°)	Koefisien C	ΔC
2	0,08223	1,31 %
3	0,08331	0,82 %
4	0,08400	

F. Pembahasan

Berdasarkan hasil uji laboratorium dengan intensitas curah hujan 145,4914 mm/jam, didapatkan nilai koefisien pengaliran (C) dari tiga variasi kemiringan permukaan model perkerasan aspal, yaitu kemiringan 2%, 3%, dan 4%. Rata-rata koefisien pengaliran yang diperoleh pada setiap kemiringan adalah 0,0822 untuk kemiringan 2%, 0,0833 untuk kemiringan 3%, dan 0,0804 untuk kemiringan 4%.

Peningkatan nilai koefisien pengaliran menunjukkan bahwa kian besar kemiringan permukaan, kian tinggi efisiensi limpasan yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh kemiringan yang lebih curam, sehingga air hujan mengalir lebih cepat ke hilir dan lebih sedikit terperangkap atau terserap di permukaan. Selain itu, durasi yang diperlukan untuk mencapai aliran stabil juga lebih cepat pada sudut kemiringan yang lebih tinggi. Dari hasil prhitungan didapatkan selisih nilai koefisien antara 2% ke 3% ialah sebesar 1,31% dan 0,82% pada kemiringan 3% ke 4%.

Grafik hubungan antara waktu dan debit limpasan menunjukkan bahwa debit bertambah seiring waktu dan cenderung konstan di akhir simulasi, menandakan permukaan telah mencapai kondisi jenuh. Ini tampak pada semua variasi sudut kemiringan, tetapi dengan waktu mencapai kestabilan yang lebih singkat pada sudut yang lebih besar. Grafik hubungan antara koefisien C dan debit juga menunjukkan tren peningkatan nilai C yang semakin konsisten seiring berjalannya waktu. Nilai koefisien pengaliran awal tergolong rendah, tetapi terus naik hingga mencapai stabilitas dalam rentang nilai yang tinggi.

Perbedaan nilai koefisien pengaliran juga bisa disebabkan oleh berbagai faktor lain di luar kemiringan, seperti sifat permukaan model perkerasan aspal, akurasi dalam pengumpulan data, serta skala model yang digunakan yaitu 0,2025 m² (45 cm × 45 cm).

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kemiringan permukaan berpengaruh signifikan terhadap besarnya koefisien pengaliran, dan hasil pengujian laboratorium ini selaras dengan teori hidrologi yang menyatakan bahwa limpasan permukaan meningkat seiring dengan bertambahnya kemiringan lahan

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium menggunakan rainfall simulator pada permukaan perkerasan aspal dengan intensitas curah hujan sebesar 145,49 mm/jam, diperoleh nilai rata-rata koefisien pengaliran (C) masing-masing sebesar 0,08223 untuk kemiringan 2%, 0,08331 untuk kemiringan 3%, dan 0,08400 untuk kemiringan 4%. Hasil ini menunjukkan bahwa permukaan beraspal memiliki efisiensi limpasan yang tinggi, dengan kecenderungan peningkatan nilai koefisien pengaliran seiring bertambahnya

kemiringan permukaan. Peningkatan nilai C tercatat sebesar 1,31% dari kemiringan 2% ke 3%, dan sebesar 0,82% dari kemiringan 3% ke 4%, yang mengindikasikan bahwa pengaruh kemiringan terhadap koefisien pengaliran cenderung menurun pada sudut kemiringan yang lebih besar. Selain itu, aliran permukaan pada kemiringan lebih curam terbentuk lebih cepat dan mencapai kestabilan dalam waktu yang lebih singkat, menunjukkan peningkatan efisiensi pengaliran pada kondisi kemiringan yang lebih tinggi.

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.

Artia, Fatima. 2018. Analisis Karakteristik Sedimen dan Laju Sedimentasi Sungai Walanae Kabupaten Wajo. Tugas Akhir. Fakultas Teknik. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.

ASTM, C. " ASTM, C. "Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying." ASTM C184.

ASTM, C. "ASTM, Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle C191." (2003)

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.

Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juwana. Review Desain Daerah Irigasi Glapan Timur. Semarang, 2016.

Bambang Triatmodjo, 2006. Hidrologi Terapan. Beta Offset. Yogyakarta

Bambang Triatmodjo, 2008. Hidrologi Terapan. Beta Offset. Yogyakarta

Bambang Triatmodjo, 2010. Hidrologi Terapan. Beta Offset. Yogyakarta

Basri, N. 2018. Studi laju Sedimentasi Bagian Hilir Sungai Saddang. Skripsi. Fakultas Teknik. Makassar: UniversitasMuhammadiyah Makassar.

Daryanto, 2004. Masalah Pencemaraan. Bandung : PT. Tarsito Hadisusanto, N. 2011. Aplikasi Hidrologi. Mediautama. Yogyakarta.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (1998). Keputusan Menteri PU RI no 441/kpts/1998 tentang Persyaratan Teknis Bangunan Gedung.

Dirjojuwono, R.W. (2003). Sistem Bangunan Pintar. Jakarta: Pustaka Wirausaha Muda

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

Gafar, M. I., Said, L. B., & Maryam, S. (2019). Pengaruh Kebijakan Sistem Jaringan Transportasi Darat Melalui Type Kebijakan Push and Pull Policy dan Dampaknya terhadap Perekonomian Kota Makassar. INTEK: Jurnal Penelitian, 6, 1–7

Gerges, N. N., Issa, C. A., Khalil, N. J., Abdul Khalek, L., Abdo, S., & Abdulwahab, Y. (2023). Flexural capacity of eco-friendly reinforced concrete beams. Scientific Reports, 13(1), 1–13. https://doi.org/10.1038/s41598-023-47283-6

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.

Hakim, dkk., 1986. Dasar-dasar Imu Tanah. Penerbit Universitas Lampung,. Lampung. Hardiyatmo, Hary C. 2012. Mekanika Tanah 1. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta

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.

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

Kasnawawi, 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

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

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

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

Sosrodarsono, S. dan Takeda. 2006. Hidrologi Untuk Pengairan, PT. Pradnya Pramita, Jakarta.

Suripin. (2004). Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Andi: Yogyakarta