

KARAKTERISTIK SEDIMEN DAN POLA TRANSPORTASI DI SUNGAI BERDASARKAN VARIASI DEBIT ALIRAN

Oleh

Nenny

Universitas Muhammadiyah Makassar

Email: nennykarim@unismuh.ac.id

Article History:

Received: 23-04-2024

Revised: 15-05-2024

Accepted: 24-05-2024

Keywords:

Sungai, Karakteristik

Sedimen, Debit Aliran

Abstract: Karakteristik sedimen dan pola transportasi di sungai dengan fokus pada variasi debit aliran. Sungai merupakan saluran alami yang memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan menyediakan sumber air bagi kebutuhan manusia. Sedimen yang terbawa oleh sungai dapat menyebabkan pendangkalan di muara, mempengaruhi kualitas air, dan berdampak negatif pada lingkungan perairan. Penelitian menggunakan data primer dan sekunder untuk menganalisis kedalaman rata-rata, koefisien kekasaran (n), dan hubungan antara kedalaman air dan nilai kekasaran Manning. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman air mempengaruhi kapasitas aliran dan karakteristik hidrolis saluran. Koefisien kekasaran bervariasi antar lokasi, dengan formulasi Manning memberikan hasil yang sesuai dengan nilai referensi tabel Manning. Analisis data juga mengungkapkan bahwa formula Manning merupakan model yang paling tepat untuk memprediksi nilai kekasaran pada sungai Krueng Keureto. Penelitian ini memberikan pemahaman mendalam tentang pengaruh kedalaman air dan koefisien kekasaran terhadap karakteristik aliran di sungai tersebut. Formula kekasaran Manning terbukti paling sesuai dalam menggambarkan hubungan antara kedalaman air dan nilai kekasaran, memberikan kontribusi signifikan untuk analisis dan perancangan saluran terbuka. Hasil penelitian ini memiliki nilai penting dalam pengelolaan sungai dan mitigasi erosi, serta memberikan wawasan untuk menjaga stabilitas lingkungan sungai dan keberlanjutan pengelolaan sumber daya air di masa depan

PENDAHULUAN

Sungai merupakan saluran alami di permukaan bumi yang mengumpulkan dan mengalirkan air hujan dari wilayah tinggi ke daerah yang lebih rendah, akhirnya bermuara di danau atau laut. Aliran sungai bukan hanya sebagai sumber air untuk memenuhi

kebutuhan manusia, tetapi juga membawa sejumlah besar sedimen yang berasal dari proses erosi. Sedimen ini dapat menyebabkan pendangkalan sungai saat mencapai muaranya, mengakibatkan penurunan kapasitas aliran dan mempengaruhi partikel sungai. Pendangkalan terus-menerus akibat sedimentasi dapat menyulitkan aliran sungai ke laut. Partikel sedimen yang terbawa oleh arus sungai cenderung mengendap di muara, menghambat kelancaran aliran menuju laut. Tingkat konsentrasi sedimen yang tinggi dapat menyebabkan air sungai menjadi keruh, menurunkan kualitas air dan berdampak negatif pada lingkungan perairan (Artia dan Sitti, 2018). Dalam konteks ini, perhatian terhadap pengelolaan sungai dan pengendalian erosi sangat penting. Tindakan pencegahan terhadap erosi di hulu sungai dan pengelolaan sedimentasi dapat membantu menjaga kejernihan air sungai, mencegah pendangkalan, dan memastikan ketersediaan air yang berkualitas bagi kebutuhan manusia dan ekosistem sungai.

Adanya endapan sedimen dalam batas yang terkontrol adalah bagian integral dari dinamika alami yang menjaga keseimbangan ekosistem sungai. Namun, jika jumlah sedimen berlebihan, hal itu dapat merubah karakteristik sungai dan menimbulkan konsekuensi serius bagi manusia. Sebagai contoh, kelebihan sedimen dapat menyebabkan banjir yang merugikan dan menurunkan kualitas air sungai. Sedimentasi yang signifikan dapat mengakibatkan pengurangan kedalaman sungai, yang pada gilirannya membatasi kapasitas tampang sungai. Secara sederhana, ini berarti sungai memiliki kemampuan yang lebih rendah untuk menampung dan mengalirkan air. Akibatnya, sungai mungkin tidak dapat menangani volume air yang tinggi dengan efisien, meningkatkan risiko banjir. Selain itu, sedimentasi dapat mengubah pola aliran air dan menyebabkan erosi tepi sungai. Hal ini tidak hanya memengaruhi ekosistem sungai, tetapi juga dapat merugikan kehidupan manusia yang bergantung pada sumber daya sungai. Oleh karena itu, pemahaman dan pengelolaan yang baik terhadap sedimen sungai sangat penting untuk memastikan keberlangsungan lingkungan sungai dan untuk mengurangi risiko dampak negatif terhadap masyarakat yang tinggal di sekitarnya (Artia dan Sitti, 2018).

Pola aliran di dalam sungai, saluran alamiah, sangat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk debit air, topografi, geologi, iklim, dan vegetasi dalam daerah aliran sungai yang relevan (DAS). Semua kondisi ini membentuk karakteristik unik dan pola aliran yang teramati dalam sungai. Pergerakan di dalam penampang lintang saluran melibatkan partikel sedimen yang rentan tererosi, dan terdapat hubungan yang erat antara bentuk penampang lintang, volume sedimen yang diangkut, faktor gesekan, dan perkembangan vegetasi seperti semak belukar (Fasdarsyah, 2016). Berbagai bentuk dasar saluran dalam sungai menimbulkan tantangan khusus untuk aliran dan transportasi sedimen, melibatkan variabel khusus seperti kedalaman, kemiringan, viskositas, dan lainnya. Oleh karena itu, kita dapat menganalisis, meramalkan, mencegah, dan mengurangi masalah yang muncul. Penentuan hambatan aliran bergantung pada akurasi dalam merumuskan hubungan proporsional dimensi bentuk dasar selama berbagai tahap aliran dan mengaitkannya dengan kekasaran hidraulik. Perubahan kondisi aliran memainkan peran kunci dalam memprediksi kekasaran hidraulik dalam saluran aluvial. Interaksi antara formulasi bentuk dasar saluran dan koefisien kekasaran hidraulik (n Manning) melibatkan variasi parameter aliran yang beragam tergantung pada jenis hambatan aliran. Oleh karena itu, pengembangan program komputer menjadi sangat penting untuk menghitung dan meramalkan nilai kekasaran

hidraulik (n Manning) sebagai respons terhadap perubahan bentuk dasar saluran.

Estimasi laju sedimentasi sangat penting dalam perencanaan infrastruktur sungai, manajemen erosi, dan penanganan berbagai masalah sungai lainnya. Beberapa metode yang umum digunakan untuk memprediksi kecepatan sedimentasi melibatkan rumus matematis seperti Dubois Formula, Meyer-Peter Formula, Einstein Bed-Load Function, Modified Einstein Procedure, Colby's 1957 Method, dan Colby's 1964 Method. Pendekatan umum dalam prediksi ini melibatkan karakteristik sedimen seperti ukuran, bentuk, berat volume, berat jenis, dan kecepatan jatuh sedimen (Hambali dan Yayuk, 2016). Dengan memahami variabel-variabel ini, kita dapat mengidentifikasi dan memprediksi laju sedimentasi di sungai pada titik tertentu. Selain itu, informasi tentang karakteristik sedimen juga membantu dalam perencanaan struktur hidraulik sungai dan manajemen proses scouring. Penting untuk diingat bahwa pemahaman yang mendalam terhadap sifat-sifat sedimen ini diperlukan untuk membuat prediksi yang akurat, sehingga penelitian lebih lanjut dan pengembangan model dapat membantu meningkatkan presisi dalam memperkirakan laju sedimentasi di lingkungan sungai.

Sehubungan dengan penjelasan diatas maka penelitian ini berfokus pada "Karakteristik Sedimen Dan Pola Transportasi Di Sungai Berdasarkan Variasi Debit Aliran". Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik butiran sedimen dalam rangka merumuskan kekasaran saluran yang sesuai. Dengan demikian, diharapkan dapat menghasilkan formulasi kekasaran saluran yang cocok untuk digunakan dan diterapkan sesuai kebutuhan. Penelitian ini memiliki nilai penting dalam memahami dan mengelola kualitas air serta menjaga stabilitas lingkungan sungai.

LANDASAN TEORI

1. Sungai

Seperti yang umumnya dipahami, permintaan air meningkat dengan cepat karena pertumbuhan populasi dan kemajuan sosial-ekonomi masyarakat. Namun, volume air secara keseluruhan di Bumi cenderung tetap relatif konstan, mengikuti siklus hidrologi yang berulang. Oleh karena itu, nilai ekonomi air semakin meningkat. Oleh karena itu, menjadi sangat penting untuk memberikan perhatian khusus pada pemanfaatan efektif sumber daya alam ini. Salah satu sumber air daratan utama yang memenuhi kebutuhan manusia adalah aliran sungai.

Pengelolaan aliran sungai memerlukan teknologi dan proses pengolahan yang tepat guna agar tidak merusak lingkungan hidup. Dalam konteks ini, data hidrologi sungai sangat diperlukan untuk memastikan pendayagunaan aliran sungai secara efektif dan efisien. Sebagai contoh, dalam mengevaluasi kecocokan struktur air yang sudah ada atau direncanakan di lokasi tertentu, atau dalam merencanakan struktur keamanan sungai, data hidrologi sungai menjadi hal yang sangat penting. Pentingnya data hidrologi sungai tidak hanya terbatas pada pengembangan infrastruktur, tetapi juga relevan dalam aspek-aspek lain, seperti manajemen sumber daya air, mitigasi banjir, dan perlindungan lingkungan. Oleh karena itu, upaya untuk mengumpulkan dan menganalisis data hidrologi sungai merupakan langkah penting dalam mendukung keberlanjutan dan keberlanjutan pengelolaan sumber daya air di masa depan.

Sungai merupakan suatu sistem aliran air alami yang terbentuk melalui alur-alur dari

hulu hingga hilir di permukaan bumi. Siklus ini dimulai ketika tetesan air hujan turun ke permukaan Bumi, di mana sebagian menguap sementara mayoritas berkumpul untuk membentuk alur kecil. Alur-alur ini kemudian bergabung untuk membentuk alur menengah, dan akhirnya bersatu membentuk alur besar atau sungai utama. Fungsi utama sungai adalah mengumpulkan curah hujan dan mengalirkannya ke laut. Dalam hal fungsi, sungai sering disebut sebagai drainase alam, yang mencakup daerah yang dikelilingi oleh sungai dan daerah yang mengalirkan air ke sungai. Daerah yang mengalirkan air ke dalam sungai disebut sebagai Daerah Aliran Sungai (DAS). DAS merupakan wilayah yang mengumpulkan air hujan dan mengalirkannya melalui sungai ke laut.

Dengan demikian, sungai memiliki peran penting dalam mengatur siklus air di permukaan bumi dan menjaga keseimbangan ekosistem. Proses alami ini juga menciptakan pola drainase alam yang mendukung kehidupan tanaman, hewan, dan manusia dalam daerah sekitarnya (Artia dan Sitti, 2018).

2. Sedimen dan Sedimentasi

a. Pengertian Sedimen dan Sedimentasi

Sedimen adalah hasil dari proses erosi, yang dapat berasal dari erosi permukaan, erosi gully, atau jenis erosi tanah lainnya. Biasanya, sedimen ini menumpuk di bagian bawah lereng bukit, daerah banjir, saluran air, sungai, dan waduk. Konsep hasil sedimen mencakup jumlah sedimen yang berasal dari erosi, diukur dalam suatu daerah tangkapan air pada periode waktu dan lokasi tertentu. Proses erosi itu sendiri terdiri dari tiga tahap utama, yaitu detachment, transportasi, dan sedimentasi. (Asdak, 2014). Pengelupasan terjadi ketika tanah atau batuan terlepas dari permukaan karena berbagai faktor seperti air hujan atau aliran sungai. Selanjutnya, pengangkutan terjadi saat partikel-partikel tersebut dipindahkan oleh aliran air atau angin. Akhirnya, pengendapan adalah peristiwa di mana material batuan yang diangkut tersebut mengendap ketika kekuatan pengangkutannya menurun, seringkali terjadi di daerah aliran air, sungai, danau, atau laut.

Sedimentasi, sebagai bagian dari fenomena ini, adalah suatu kejadian di mana material batuan yang telah diangkut oleh air atau angin mengendap. Selama proses erosi, air membawa batuan dari berbagai lokasi ke sungai, danau, dan akhirnya ke laut. Ketika gaya pengangkutan berkurang atau habis, batuan terendap di sepanjang jalur aliran air, membentuk lapisan sedimen. Ini adalah fenomena alam yang dapat memengaruhi kondisi lingkungan dan keberlanjutan ekosistem di sekitarnya.

b. Proses Sedimen

Sedimen yang dihasilkan melalui proses erosi dan dibawa oleh aliran air cenderung mengendap di daerah di mana kecepatan aliran melambat atau berhenti. Fenomena pengendapan ini dikenal sebagai sedimentasi. Proses sedimentasi sangat kompleks, dimulai dengan hujan yang memberikan energi kinetik, memulai proses erosi. Saat partikel tanah menjadi halus, mereka bergulir bersama aliran (Artia dan Sitti, 2018). Sebagian partikel tertinggal di tanah, sementara yang lain terbawa oleh aliran ke sungai, membentuk angkutan sedimen. Proses sedimentasi dapat dikategorikan menjadi dua jenis:

- 1) Sedimentasi geologis melibatkan erosi normal tanah, terjadi dalam batas-batas yang dapat diterima dan menjaga keseimbangan alam antara degradasi dan aggradasi di permukaan Bumi akibat pelapukan.

- 2) Sedimentasi yang dipercepat adalah proses merusak dan merugikan yang menyimpang dari norma geologis, berlangsung dengan cepat. Proses ini dapat mengganggu keseimbangan lingkungan dan keberlanjutan. Seringkali, aktivitas manusia dalam pengelolaan tanah berkontribusi pada sedimentasi yang dipercepat. Praktek pertanian yang tidak tepat dapat menyebabkan tingginya tingkat erosi tanah dan sedimentasi.

Secara ringkas, sedimentasi, baik geologis maupun dipercepat, memainkan peran penting dalam membentuk lanskap. Memahami dan mengelola proses ini penting untuk menjaga keseimbangan lingkungan dan mencegah dampak buruk yang disebabkan oleh sedimentasi yang dipercepat akibat aktivitas manusia.

Tabel 1 Proses Sedimen Dasar

Perbandingan T	Proses yang terjadi	
	Sedimen	Dasar
$T1 = T2$	Seimbang	Stabil
$T1 < T2$	Erosi	Degradasi
$T1 > T2$	Pengendapan	Agradasi

Sumber: Artia dan Sitti (2018)

Kondisi yang dianggap sebagai awal dari pergerakan butiran sedimen dapat terjadi dalam salah satu dari peristiwa berikut:

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

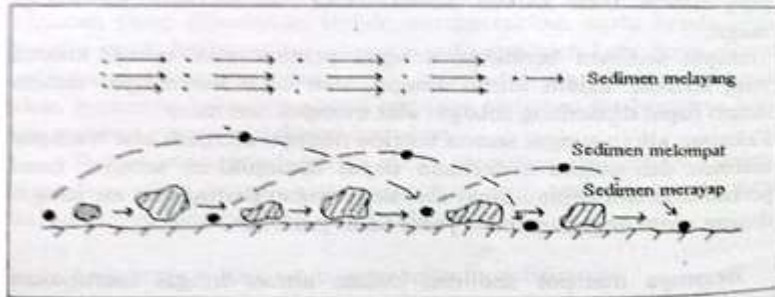
Tiga faktor yang terkait dengan awal gerakan butiran sedimen melibatkan:

- 1) Kecepatan aliran dan diameter/ukuran butiran.
- 2) Gaya angkat yang melebihi berat gerak butiran.
- 3) Gaya geser kritis.

Partikel berukuran besar yang bergerak bersama-sama di dasar sungai disebut sebagai muatan dasar. Keberadaan muatan sedimen di dasar sungai dinyatakan melalui pergerakan partikel di dasar sungai. Meskipun pergerakan ini dapat melibatkan pergeseran, berguling, atau melompat, partikel tetap terhubung dengan dasar sungai dan terkadang dapat berpindah sejauh tertentu sebelum bercampur dan bergerak ke hilir.

Menurut Asdak (2014), setelah sedimen memasuki sungai, proses transportasi sedimen akan dimulai. Kecepatan transportasi sedimen dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu kecepatan aliran sungai dan ukuran partikel sedimen. Partikel sedimen kecil, seperti lempung dan lumpur, dapat diangkut oleh air yang mengalir dalam bentuk terlarut, yang disebut sebagai muatan bersih. Sementara itu, partikel yang lebih besar, seperti pasir, cenderung bergerak dengan melompat. Dalam konteks ini, perlu dicatat bahwa partikel sedimen yang lebih besar dari pasir, seperti kerikil (*gravel*), akan mengalami transportasi dengan cara yang berbeda. Partikel-partikel ini umumnya bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai, dan fenomena ini dikenal sebagai *bedload*.

Dengan kata lain, proses transportasi sedimen dalam sungai melibatkan mekanisme yang berbeda tergantung pada ukuran partikelnya. Sedimen halus dapat terbawa dalam air, sedangkan sedimen yang lebih kasar cenderung bergerak di dasar sungai. Hal ini menunjukkan kompleksitas interaksi antara aliran sungai dan material sedimen yang memainkan peran penting dalam membentuk morfologi sungai.



Gambar 1 Transpor Sedimen dalam Aliran Air Sungai

Sumber: Artia dan Sitti (2018)

Berdasarkan jenis sedimen dan dimensi partikel tanah serta komposisi mineral dari bahan dasar yang membentuknya, berbagai macam sedimen dapat diidentifikasi, termasuk pasir, liat, dan lain sebagainya. Tergantung pada ukuran partikelnya, sedimen dapat dibagi menjadi dua kategori utama: muatan sedimen atau terlarut dalam air sungai, dan sedimen dasar atau merayap di dasar sungai, yang juga dikenal sebagai sedimen bantalan sungai. Penting untuk memahami bahwa ukuran partikel memainkan peran kunci dalam menentukan perilaku sedimen di dalam sistem Sungai (Artia dan Sitti, 2018). Ukuran partikel sedimen dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- 1) Liat: Partikel dengan ukuran kurang dari 0,0039 mm.
- 2) Debu: Partikel dengan ukuran antara 0,0039 hingga 0,0625 mm.
- 3) Pasir: Partikel dengan ukuran antara 0,0625 hingga 2,0 mm.
- 4) Pasir Besar: Partikel dengan ukuran antara 2,0 hingga 64,0 mm.

Muatan sedimen, yang terlarut dalam sungai, dapat terdiri dari berbagai ukuran partikel, tergantung pada kecepatan arus air. Di sisi lain, sedimen dasar, yang merayap di dasar sungai, biasanya terdiri dari partikel-partikel yang lebih besar karena mereka tidak dapat diangkat oleh aliran sungai. Pengetahuan tentang distribusi ukuran partikel sedimen ini penting dalam konteks pengelolaan sungai dan ekosistem sungai, karena dapat memengaruhi transportasi material sedimen, perubahan bentuk sungai, dan habitat sungai.

c. Angkutan Sedimen (*Transport Sedimen*)

Akibat aliran air, berbagai gaya bekerja pada material sedimen, cenderung untuk menggerakkan atau menyeret partikel sedimen. Gaya-gaya ini memiliki potensi mencapai kondisi kritis di mana peningkatan sedikit dalam gaya dapat menyebabkan partikel sedimen bergerak; kondisi ini disebut sebagai kondisi kritis. Parameter aliran selama kondisi kritis ini, seperti tegangan geser (T_0) dan kecepatan aliran (U), juga mencapai nilai. Menurut Mardjikoeno dalam (Artia dan Sitti, 2018), Transportasi sedimen merujuk pada pergerakan material sedimen granular (tidak koheren) yang dibawa oleh air mengikuti arah alirannya. Jumlah transportasi sedimen (T) dapat ditentukan dari pergerakan sedimen melalui area lateral selama periode waktu yang cukup.

Ada dua kelompok utama cara untuk mentransfer sedimen dari batuan asalnya ke

tempat deposisi, yaitu melalui suspensi (muatan tersuspensi) dan transportasi muatan dasar.. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut untuk kedua cara tersebut:

- 1) Suspensi: Dalam teori, segala ukuran butir sedimen dapat diangkut dalam suspensi jika arus cukup kuat. Namun, dalam kenyataannya, hanya material halus yang dapat diangkut dalam suspensi. Sifat sedimen yang mengendap dari suspensi ini adalah memiliki prosentase massa yang tinggi, sehingga butirannya tampak mengambang dalam massa besar air. Umumnya, sedimen ini juga cenderung memiliki pemilahan butir yang kurang baik. Salah satu ciri khasnya adalah butir sedimen yang diangkut tidak pernah menyentuh dasar aliran air.
- 2) *Bed Load Transport*:
Berdasarkan tipe gerakan media pembawanya, *bed load transport* dapat dibagi menjadi tiga jenis:
 - a) Endapan arus traksi: Sedimen diangkut dengan cara digeser atau ditarik oleh arus air di dasar sungai atau saluran air.
 - b) Endapan arus pekat (*density current*): Sedimen diangkut dalam lapisan densitas tinggi yang mengalir di dasar aliran air. Gerakan ini umumnya melibatkan butir-butir yang lebih besar.
 - c) Endapan suspensi: Sedimen diangkut dalam suspensi di dalam kolom air, tetapi di sini fokusnya adalah pada *bed load transport*. *Bed load transport* melibatkan sedimen yang bersentuhan dengan dasar aliran, bergerak dengan cara tergelincir atau digulung oleh arus.

Dengan demikian, *bed load transport* melibatkan interaksi langsung dengan dasar aliran, berbeda dengan suspensi yang melibatkan material halus yang tampak mengambang di dalam massa air. Pemahaman tentang kedua cara ini penting dalam konteks geomorfologi dan proses transportasi sedimen dalam lingkungan sungai atau saluran air.

3. Karakteristik Sedimen

Ciri-ciri sedimen yang terkait dengan transportasi sedimen mencakup ukuran butir, bentuk butir, dan distribusi ukuran butir. Ketika sedimen diangkut oleh aliran air atau angin, karakteristik ini dapat mengalami perubahan yang signifikan dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Gradasi

Gradasi atau susunan butiran merujuk pada distribusi ukuran agregat dalam suatu campuran. Ada tiga jenis gradasi yang dapat dibedakan, yaitu gradasi celah, gradasi kontinu, dan gradasi seragam. Gradasi agregat sendiri dapat dikelompokkan menjadi tiga tipe utama:

- 1) Gradasi Seragam (*Uniform Graded*): Dalam gradasi ini, ukuran butir agregat hampir identik. Ini juga dikenal sebagai gradasi terbuka karena memiliki sedikit agregat halus, sehingga terbentuk banyak rongga atau ruang kosong di antara agregat.
- 2) Gradasi Rapat (*Dense Graded*): Gradasi ini melibatkan berbagai ukuran butir agregat, mulai dari kasar hingga halus. Juga dikenal sebagai gradasi menerus atau gradasi baik karena memiliki distribusi yang seimbang, menciptakan campuran yang padat dan berkualitas baik.

- 3) *Gradasi Senjang (Gap Graded)*: Pada gradasi ini, terdapat ketidaklengkapan dalam ukuran agregat, di mana beberapa fraksi agregat mungkin tidak ada atau hadir dalam jumlah yang sangat sedikit. Gradasi campuran aspal ini memiliki sifat transisional di antara campuran dengan gradasi seragam dan gradasi padat..

Pentingnya gradasi dalam campuran beraspal adalah karena memengaruhi sifat-sifat campuran, termasuk kekuatan, kepadatan, dan daya tahan terhadap beban. Pemilihan jenis gradasi yang tepat sangat penting untuk memastikan performa yang baik dari campuran beraspal dalam aplikasi konstruksi jalan. Sebagai contoh, gradasi seragam dapat memberikan daya dukung struktural yang baik, sementara gradasi rapat dapat meningkatkan daya tahan terhadap deformasi dan keausan. Sebaliknya, gradasi senjang mungkin digunakan untuk tujuan khusus di mana karakteristik tertentu diperlukan.

b. Ukuran Butir Sedimen

Ukuran partikel sedimen merupakan parameter krusial dalam memahami perilaku transportasi sedimen, dan terdapat beberapa metode untuk mengukurnya. Salah satu metode adalah dengan menggunakan diameter nominal (d_n), yang merujuk pada diameter bola yang memiliki volume yang sama dengan butir sedimen. Metode lain adalah menggunakan kecepatan penurunan, yang merupakan diameter dari bola dengan densitas jenis 2,65 dan memiliki kecepatan penurunan standar. Selain itu, ada diameter sedimen, yang mengacu pada diameter bola yang memiliki berat dan kecepatan butiran sedimen dalam kondisi dan cairan yang sama..

Satu metode lain yang umum digunakan adalah diameter saringan, di mana ukuran butir sedimen diukur menggunakan saringan standar. Proses ini umumnya dilakukan untuk butir sedimen dengan diameter lebih besar dari 0,0625 mm, yang merupakan ukuran saringan terkecil yang digunakan. Metode-metode ini membantu ilmuwan dan insinyur dalam mengklasifikasikan dan memahami karakteristik sedimen dalam konteks transportasi dan sedimentasi, memberikan pemahaman lebih mendalam tentang pergerakan dan deposisi partikel-partikel sedimen dalam lingkungan perairan (Artia dan Sitti, 2018).

c. Bentuk Butir Sedimen

Karakteristik fisik sedimen, terutama bentuk butirnya, memiliki peran penting dalam proses transportasi sedimen. Terdapat tiga parameter utama yang digunakan untuk menggambarkan bentuk butir sedimen, yakni *sphericity*, *roundness*, dan *shape factor*.

- 1) *Sphericity*: *Sphericity* merupakan koefisien atau parameter yang sering digunakan untuk mengukur bentuk butir sedimen berdasarkan volumenya. Jika butir sedimen memiliki bentuk bola yang sempurna, nilai sferisitas akan sama dengan satu. Sebaliknya, untuk bentuk butir yang berbeda, nilai sferisitas akan kurang dari satu.
- 2) *Roundness*: *Roundness* adalah Koefisien atau parameter digunakan untuk menggambarkan bentuk sedimen berdasarkan pada luas proyeksi butir sedimen. Koefisien kebulatan memberikan indikasi sejauh mana ujung butir sedimen bersudut. Semakin tinggi nilai kebulatan, ujung butir sedimen menjadi lebih kerucut.
- 3) *Shape Factor*: Faktor bentuk didasarkan pada nilai sumbu triaksial yang saling tegak lurus, yaitu sumbu panjang a , sumbu sedang b , dan sumbu pendek c . Faktor bentuk memberikan deskripsi yang lebih rinci tentang aspek geometris butiran sedimen, mempertimbangkan dimensi dalam tiga arah yang berbeda.

Penting untuk memahami ketiga parameter ini karena mereka dapat memberikan informasi mengenai kemampuan sedimen untuk bergerak dan mengalami perubahan bentuk selama proses transportasi. Informasi ini memiliki aplikasi luas dalam bidang geologi, hidrologi, dan rekayasa lingkungan, di mana pemahaman tentang transportasi sedimen menjadi kunci untuk analisis dan perencanaan yang akurat.

4. Pembuatan Lengkung Debit Air

Debit air merupakan hasil dari perubahan luas tampang aliran dan kecepatan aliran di suatu sungai. Untuk mengukur luas permukaan sungai, kita perlu mengetahui elevasi permukaan air dan dasar sungai. Ini dapat diukur di suatu stasiun di sungai, asalkan dasar sungai dan tepinya tidak berubah. Elevasi dasar sungai diukur hanya sekali, sementara elevasi permukaan air diukur untuk berbagai kondisi, mulai dari debit kecil hingga banjir. Dari data ini, luas aliran untuk berbagai elevasi permukaan air dapat dihitung, dan kecepatan aliran juga dapat dihitung secara bersamaan.

Hasil pengukuran ini digunakan untuk membuat kurva debit, yang merupakan hubungan antara elevasi permukaan air dan debit. Kurva ini memungkinkan perhitungan debit sungai hanya dengan mengukur elevasi permukaan air. Namun, perlu dicatat bahwa penggunaan kurva debit hanya efektif jika sungai tidak dipengaruhi oleh pasang surut. Bentuk sungai tidak teratur, baik secara longitudinal maupun transversal, dan distribusi kecepatan tidak merata karena viskositas air dan kasarannya pada dinding sungai. Distribusi kecepatan pada vertikal memiliki bentuk parabolis, dengan kecepatan nol di dasar sungai dan meningkat menuju permukaan. Di sepanjang lebar sungai, kecepatan nol di tepi dan meningkat ke tengah. Oleh karena itu, pengukuran kecepatan harus dilakukan di berbagai titik dan vertikal untuk hasil yang lebih akurat. Kurva debit dibuat berdasarkan analisis grafis data pengukuran, biasanya digambarkan pada kertas grafik aritmatika atau logaritmika. Pemahaman yang baik tentang sifat saluran sungai, hidraulika sungai, dan pengalaman dalam membuat kurva debit diperlukan untuk menganalisis bentuk dan posisi kurva debit dengan akurat. (Artia dan Sitti, 2018).

Metode pembuatan lengkung debit air dapat dilakukan dengan dua pendekatan utama, yaitu metode grafis dan metode logaritmik. Dalam metode grafis, data pengukuran debit direpresentasikan pada kertas kurva debit kosong, di mana nilai debit digambarkan pada skala horizontal, sementara tinggi air digambarkan pada skala vertikal. Informasi yang digunakan untuk menentukan kurva debit diperoleh dari nilai debit dalam kondisi aliran seragam. Dalam metode ini, debit yang diukur ketika tinggi air naik akan lebih besar daripada saat air turun, sesuai dengan kondisi aliran yang dianggap seragam. Proses ini membantu membangun kurva debit yang cukup akurat.

Sementara itu, metode logaritmik menggunakan kertas logaritmik untuk menggambarkan kurva lengkung debit. Graph tersebut dapat berupa garis lurus atau bagian-bagian dari garis lurus, dengan penyesuaian tinggi air yang setara dengan tinggi aliran nol (H_0) setiap 29 nilai tinggi air (H). Keunggulan dari metode logaritmik adalah kemudahan dalam perpanjangan lengkung debit. Penerapan metode logaritmik mempermudah proses perluasan kurva debit, sehingga dapat memberikan representasi yang lebih akurat terhadap variasi kondisi aliran. Dengan demikian, baik metode grafis maupun logaritmik merupakan pendekatan yang dapat diandalkan untuk menyusun lengkung debit air dan memberikan informasi yang diperlukan dalam pemahaman karakteristik aliran air pada suatu sungai.

Representasi umum dari keterkaitan antara tinggi muka air dan debit dalam sebuah sungai dapat dijelaskan dalam suatu persamaan matematis.

$$Q = K (H - H_0)^n \dots\dots\dots$$

Dimana:

Q : Debit (m^3/det)

K : Konstanta

N : Konstanta

H : Tinggi Muka Air (m)

H_0 : Kedalaman Aliran Nol (m)

1. Penentuan Harga H_0

Dalam menggunakan rumus 6, tahap awalnya adalah menetapkan atau menentukan harga H_0 , ada 3 cara penentuan H_0 yaitu:

a) Coba-Coba (*Trial and error*)

Semua data pengukuran direpresentasikan pada kertas grafik logaritmik dengan pendekatan uji coba. Melalui uji coba, nilai ketinggian aliran nol (H_0) ditambahkan atau dikurangkan secara sembarangan pada setiap data tingkat air (H), sehingga diperoleh garis lurus dalam representasi grafis. Pendekatan uji coba ini dilakukan untuk menemukan nilai optimal H_0 yang menghasilkan garis lurus atau mendekati garis lurus pada kertas logaritmik. Proses ini memungkinkan pembentukan lengkung debit yang lebih akurat dan dapat dengan mudah diperpanjang. Dengan demikian, metode ini memberikan fleksibilitas dalam menyesuaikan garis lengkung debit dengan data yang ada, sehingga dapat memberikan hasil yang lebih presisi dalam analisis karakteristik aliran air.

b) Aritmatik

Semua informasi pengukuran debit direpresentasikan secara visual pada kertas grafik logaritmik. Dalam konteks ini, kita dapat memilih nilai debit Q_1 , Q_2 , dan Q_3 dari lengkung debit. Harga Q_2 dapat dihitung menggunakan persamaan rata-rata geometris, yang memberikan nilai tengah dari dua data tengah pada kurva. Persamaan rata-rata geometris digunakan untuk menghitung nilai tengah secara proporsional dari dua nilai pada skala logaritmik. Proses ini memberikan nilai Q_2 yang diperoleh dari perhitungan rata-rata geometris, yang seringkali merupakan representasi yang lebih tepat dari nilai tengah dalam suatu data set. Dengan demikian, pemilihan dan perhitungan nilai debit Q_1 , Q_2 , dan Q_3 dari kurva logaritmik dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam terkait karakteristik aliran air yang diamati.

$$Q_2 = (Q_1 \times Q_3)^{0.5} \dots\dots\dots$$

Baca pada kurva lengkung debitnya harga H_1 , H_2 , H_3 , berdasarkan Q_1 , Q_2 , dan Q_3 . Harga H_0 ditentukan dengan persamaan:

$$H_0 = \frac{H_1.H_3 - H_2^2}{H_1 + H_3 - 2.H_2} \dots\dots\dots$$

2. Penentuan Konstanta K dan n

Setelah semua data pengukuran debit direpresentasikan pada kertas grafik logaritmik dan garis lurus x telah ditentukan dengan menambah atau mengurangi tinggi air (H) pada tinggi aliran nol (H_0), langkah berikutnya adalah menentukan nilai-nilai K dan n dalam persamaan di atas. Cara untuk menentukan nilai K dan n dapat dilakukan melalui metode sebagai berikut: Pertama, analisis grafik untuk mengidentifikasi dua titik pada garis lurus

logaritmik yang telah dibentuk. Dua titik ini akan digunakan untuk mencari nilai K dan n pada persamaan diatas. Titik yang biasanya dipilih adalah pada dua kondisi yang ekstrem, seperti pada nilai debit minimum dan maksimum.

Penting untuk dicatat bahwa penentuan nilai K dan n ini merupakan langkah kritis dalam analisis hidrologi, dan keakuratan hasil sangat bergantung pada pemilihan titik yang tepat pada grafik. Oleh karena itu, pemilihan titik yang mewakili kondisi aliran yang signifikan sangat diperlukan agar hasil analisis hidrologi dapat memberikan estimasi yang akurat terkait hubungan antara tinggi muka air dan debit.

a. Statistik

Dalam mengimplementasikan metode statistik untuk menentukan nilai parameter K (konstanta) dan n (eksponen) dalam suatu persamaan, metode kuadrat terkecil (*least square*) sering digunakan. Pendekatan ini memungkinkan transformasi persamaan yang awalnya non-linear menjadi persamaan garis lurus yang lebih mudah diinterpretasikan. Dengan metode kuadrat terkecil, kita dapat mengubah persamaan yang awalnya bersifat non-linear menjadi persamaan garis lurus. Hal ini memungkinkan kita untuk mengaplikasikan teknik-teknik analisis regresi yang lebih umum digunakan untuk persamaan linear. Dengan kata lain, kita mencari garis lurus terbaik yang mendekati pola data yang sebenarnya.

Pada dasarnya, metode kuadrat terkecil bekerja dengan cara mengurangi selisih antara nilai observasi yang sebenarnya dengan nilai yang diperkirakan oleh persamaan garis lurus tersebut. Proses ini dilakukan dengan mencari parameter K dan n yang meminimalkan jumlah kuadrat selisih antara data observasi dan nilai yang diprediksi. Sebagai tambahan, metode kuadrat terkecil memungkinkan analisis yang lebih mudah dilakukan dan memberikan hasil yang lebih stabil, terutama saat menangani data yang memiliki keberagaman atau ketidakpastian. Oleh karena itu, pendekatan ini memberikan fleksibilitas dan kemudahan interpretasi dalam menentukan parameter suatu persamaan matematis dari data empiris yang diperoleh.

$\text{Log } Q = \log K + n \log (H - H_0) \dots\dots\dots$

b. Aritmatik

Biasanya, ketika kita menggambarkan garis lurus pada kertas grafik aritmatik, kita memerlukan dua titik referensi, yang umumnya dinotasikan sebagai (x_1, y_2) dan (x_2, y_2) . Dengan menggunakan dua titik ini, kita dapat menentukan persamaan matematis dari garis lurus tersebut. Persamaan ini biasanya berbentuk:

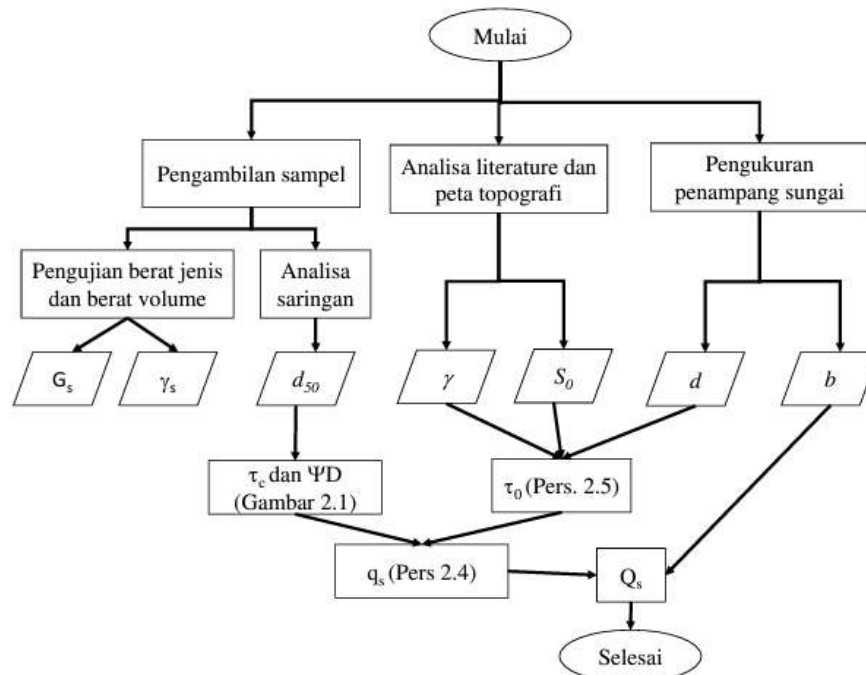
$$\frac{x-x_1}{y-y_1} = \frac{x_2-x_1}{y_2-y_1} \dots\dots\dots$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua jenis data utama, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung terhadap kedalaman dan lebar aliran sungai, serta pemeriksaan gradasi butiran dalam material dasar saluran. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari lembaga terkait, seperti peta lokasi dan potongan lintasan sungai. Analisis ayakan dilakukan untuk menentukan distribusi material dasar saluran, dengan merujuk pada metode analisis ukuran butiran (ASTM 422-63). Pemeriksaan gradasi butiran melibatkan penggunaan seperangkat ayakan dengan nomor 4, 8, 30, 50, 100, dan 200. Sampel

material yang berbobot 300 gram dikeringkan menggunakan oven, kemudian diatur pada satu set ayakan yang diguncang menggunakan mesin pengocok selama sekitar 15 menit.

Sampel yang tertahan pada setiap ayakan kemudian ditimbang, dan bobotnya dicatat. Hasil uji disajikan dalam bentuk kurva distribusi ukuran partikel pada grafik skala semilogaritmik. Analisis ini memberikan gambaran tentang komposisi butiran pada material dasar saluran sungai. Pokok-pokok pembahasan melibatkan interpretasi hasil pemeriksaan sebagai bagian integral dari penelitian, memberikan pemahaman yang lebih mendalam terkait karakteristik material dasar dan relevansinya terhadap aliran sungai.



Gambar 2 Bagan Alir Analisis
Sumber: Fasdarsyah (2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

a. Kedalaman Rata-Rata

Kedalaman air merupakan parameter yang sangat penting dalam perancangan dan perhitungan geometris saluran terbuka. Kedalaman air memiliki dampak yang signifikan terhadap kapasitas aliran, dan perubahan hidrolis dalam saluran sangat dipengaruhi oleh faktor ini. Kedalaman air menjadi faktor penentu dalam menentukan koefisien kekasaran (n), yang akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan tingkat air dan debit. Pada kondisi di mana kedalaman air meningkat, koefisien kekasaran (n) akan mengalami penurunan. Ini disebabkan oleh perubahan karakteristik aliran saat tingkat air dan debit saluran bertambah. Kedalaman air yang rendah juga dapat mengekspos ketidakrataan dasar sungai, yang dapat memiliki efek yang nyata terhadap aliran air. Fenomena ini menjadi lebih nyata dan terlihat jelas ketika kedalaman air rendah.

Dalam konteks pengukuran kecepatan dan perhitungan yang dilakukan, data mengenai kedalaman rata-rata di setiap lokasi menjadi penting. Tabel dibawah ini memberikan informasi mengenai kedalaman rata-rata yang diperoleh dari pengukuran dan perhitungan

kecepatan. Data ini menjadi dasar untuk analisis lebih lanjut dalam merancang saluran terbuka, memastikan bahwa faktor kedalaman air diperhitungkan secara cermat untuk mengoptimalkan kapasitas aliran dan karakteristik hidrolis saluran.

Tabel 2 Kedalaman Rata-Rata berdasarkan Lokasi Pengukuran Sungai

Lokasi Pengukuran	Pengukuran Kedalaman rata-rata (h)				
	I	II	III	IV	V
Mns. Punti	1,88	1,83	2,24	2,10	1,99
Mns. Pange	2,00	2,07	2,56	2,76	2,20
Jembatan Lhoksukon	2,79	2,83	3,28	3,93	2,68
Landing	3,03	3,06	3,44	3,36	3,01

b. Koefisien Kekerasan

Tabel di bawah ini menunjukkan nilai koefisien kasar (n) untuk setiap lokasi yang diselidiki dan nilai rata-rata koefisien kasar untuk sungai Krueng Keureto.. Koefisien kekasaran (n) adalah parameter yang mengukur hambatan atau gesekan aliran air terhadap permukaan sungai. Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai indikator penting dalam analisis hidrolika untuk memahami karakteristik aliran di berbagai bagian sungai.

Tabel 3 Koefisien Kekerasan (n) berdasarkan Lokasi Material Dasar Sungai

Lokasi material	Koefisien Kekasaran rata-rata (n)						
	Mannin g	Anderso n	Jarre t	Raudkiv i	Subramay a	Meye r	Mulle r
Mns. Punti	0,018	0,021	0,010	0,008	0,027	0,022	0,025
Mns. Pange	0,027	0,021	0,011	0,007	0,026	0,021	0,024
Jembatan Lhoksukon	0,027	0,020	0,008	0,010	0,030	0,020	0,030
Landing	0,034	0,020	0,009	0,010	0,030	0,020	0,020

Tabel 4 Koefisien Kekerasan (n) Rata-Rata Krueng Keureto

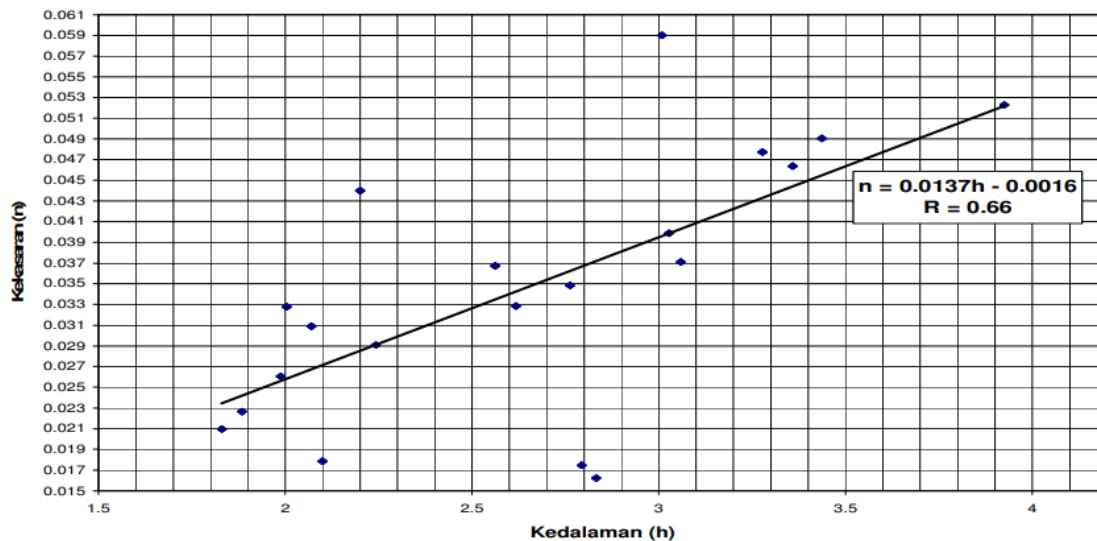
Formula	Koefisien Kekasaran (n)		
	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Manning	0,016	0,059	0,0347
Anderson	0,022	0,035	0,0259
Jarret	0,007	0,014	0,0118
Raudkivi	0,008	0,012	0,0094
Subramaya	0,029	0,043	0,0300
Meyer	0,023	0,035	0,0270
Muller	0,025	0,042	0,0309

Tabel 3 menunjukkan bahwa koefisien kekasaran bervariasi antara 0,007 dan 0,034 untuk lokasi pengamatan yang berbeda. Namun, dalam lima uji yang dilakukan (Tabel 4), koefisien kekasaran minimum tercatat sebesar 0,007, maksimum sebesar 0,059, dengan rata-rata 0,0347. Formula kekasaran Manning menghasilkan nilai minimum sebesar 0,016 dan maksimum sebesar 0,059, dengan rata-rata sebesar 0,0347. Perlu dicatat bahwa nilai rata-rata sejajar dengan koefisien kekasaran yang tercantum dalam tabel Manning, menunjukkan kesesuaian antara hasil uji dan nilai referensi dalam tabel Manning. Secara

husus, untuk saluran alami yang berliku, bersih, berindentasi, dan berbatu, nilai koefisien kekasaran minimum yang diperoleh dari formulasi adalah 0,033, sedangkan nilai maksimumnya adalah 0,045. Dengan demikian, hasil analisis kekasaran Manning mencerminkan kesesuaian yang baik dengan nilai referensi yang terdapat pada tabel Manning, memberikan keyakinan bahwa formulasi yang digunakan sesuai dengan karakteristik saluran yang bersangkutan.

2. Analisis Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan penelitian di empat lokasi observasi untuk lima studi, grafik hubungan antara nilai ketidakrataan (n) dan kedalaman (h) diperoleh untuk berbagai formulasi ketidakrataan. Sebagai contoh, pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa untuk menghitung ketidakrataan (n) menggunakan rumus Manning pada kedalaman sungai, rumus $n = 0.0137h - 0.0016$ dapat digunakan dengan nilai $r = 0.66$. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan langsung antara kedalaman sungai dan nilai ketidakrataan Manning. Penelitian ini memberikan pemahaman lebih lanjut tentang bagaimana nilai kekasaran dapat diestimasi dengan menggunakan formulasi khusus berdasarkan karakteristik tertentu dari saluran air. Grafik hubungan kedalaman sungai dan kekasaran Manning memberikan pandangan yang berguna untuk mengoptimalkan nilai kekasaran dalam analisis aliran air pada suatu lokasi tertentu.



Gambar 3 Grafik Hubungan Kedalaman (h) terhadap Kekasaran Manning (n)

Hubungan berdasarkan formulasinya disajikan pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5 Hubungan antara Kekasaran terhadap Kedalaman

No	Formulasi	Hubungan Kekasaran (n) Terhadap Kedalaman (h)	R
1.	Manning	$n = 0.0137 h - 0.0016$	0,66
2.	Anderson	Pinggir $n = 3.10^{-6} h + 0.0227$	0,01
	Tengah	$n = 0.0003 h + 0.0314$	0,12
3.	Jarret	$n = 0.0003 h - 0.0127$	0,08
4.	Raudkivi	Pinggir $n = 4.10^{-5} h + 0.0083$	0,09
	Tengah	$n = 0.0003 h + 0.0108$	0,29
5.	Subramanya	Pinggir $n = 4.10^{-6} h + 0.0296$	0,01
	Tengah	$n = 0.0003 h + 0.0388$	0,12
6.	Meyer	Pinggir $n = 4.10^{-6} h + 0.0243$	0,01
	Tengah	$n = 0.0003 h + 0.0318$	0,12
7.	Muller	Pinggir $n = -0.0006 h + 0.029$	0,25
	Tengah	$n = 0.0014 h + 0.0343$	0,26

Berdasarkan data yang tercantum dalam Tabel 5, dapat diamati bahwa formula Manning menunjukkan hubungan yang lebih baik dibandingkan dengan rumus lain yang digunakan. Oleh karena itu, formula ketidakrataan Manning dipilih sebagai formula yang paling sesuai untuk menggambarkan karakteristik sungai Krueng Keureto. Formula ketidakrataan Manning yang direkomendasikan untuk lebar sungai adalah $(n) = 0,0024b - 0,0129$, sedangkan untuk kedalaman adalah $(n) = 0,0137h - 0,0016$. Penentuan parameter-parameter dalam rumus Manning ini dilakukan berdasarkan analisis data empiris dari sungai tersebut. Formula ini memberikan hubungan yang lebih akurat antara kekasaran permukaan sungai dengan lebar dan kedalaman sungai Krueng Keureto. Oleh karena itu, dalam konteks ini, formula Manning dianggap sebagai model yang paling tepat untuk memprediksi nilai kekasaran pada sungai tersebut, memungkinkan analisis yang lebih akurat terhadap karakteristik aliran dan pergerakan air di sungai Krueng Keureto.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman air merupakan parameter krusial dalam perancangan saluran terbuka, mempengaruhi kapasitas aliran dan karakteristik hidrolis saluran. Penurunan koefisien kekasaran (n) terkait dengan peningkatan tingkat air dan debit, serta kedalaman air yang rendah dapat mengungkapkan ketidakaturan dasar sungai yang memengaruhi aliran. Pengukuran kedalaman rata-rata di setiap lokasi memberikan dasar penting untuk analisis lebih lanjut dalam merancang saluran terbuka. Selanjutnya, nilai koefisien kekasaran (n) pada sungai Krueng Keureto menjadi parameter kunci dalam analisis hidrolika. Data menunjukkan variasi koefisien kekasaran yang cukup signifikan antar lokasi, dengan hasil uji mencerminkan kesesuaian baik dengan tabel Manning. Hasil analisis kekasaran Manning memberikan nilai rata-rata yang sesuai dengan nilai referensi dalam tabel Manning, menunjukkan bahwa formulasi ini cocok dengan karakteristik saluran yang bersangkutan.

Analisis data juga dilakukan untuk menghubungkan nilai kekasaran (n) dengan kedalaman air (h). Formula Manning menunjukkan hubungan yang baik dibandingkan dengan rumus-rumus lain, memvalidasi kecocokan formulasi Manning untuk menggambarkan karakteristik sungai Krueng Keureto. Dengan demikian, formula kekasaran

Manning dipilih sebagai model yang paling tepat untuk memprediksi nilai kekasaran pada sungai tersebut. Penelitian ini memberikan pemahaman mendalam tentang pengaruh kedalaman air dan koefisien kekasaran terhadap karakteristik aliran di sungai Krueng Keureto. Formula kekasaran Manning terbukti paling sesuai dalam menggambarkan hubungan antara kedalaman air dan nilai kekasaran, memberikan kontribusi yang signifikan untuk analisis dan perancangan saluran terbuka.

Daftar Pustaka

- [1] Artia dan Sitti Fatima. (2018). "Analisis Karakteristik Sedimen Dan Laju Sedimentasi Sungai Walanae Kabupaten Wajo". Skripsi Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
- [2] Cops Asisten. Edisi Kesembilan. (2010). Penuntun Praktikum Hidrolika. Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- [3] Fasdarsyah. (2016). "Analisis Karakteristik Sedimen Dasar Sungai Terhadap Parameter Kedalaman". Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.
- [4] Hakim, Riskiyanti Siti. (2015). "Studi Laju Sedimentasi Waduk Bili-Bili Pasca Pengembangan Bangunan Penahan Sedimen". Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- [5] Hambali Roby, Yayuk Apriyanti. (2016). "Studi Karakteristik Sedimen Dan Laju Sedimentasi Sungai Daeng – Kabupaten Bangka Barat". Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung.
- [6] Hambali, Roby dan Yayuk Apriyanti. (2016). "Studi Karakteristik Sedimen Dan Laju Sedimentasi Sungai Daeng – Kabupaten Bangka Barat". Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung.
- [7] Mattotorang, U.H. (2019). "Studi Pengaruh Lebar Sungai Terhadap Karakteristik Aliran Sedimen Di Dasar". Jurnal Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Andi Djemma, Palopo.
- [8] Mokonio Oliviana. (2013). "Analisis Sedimentasi Di Muara Sungai Saluwangko Di Desa Tounet Kecamatan Kakas Kabupaten Minahasa". Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.
- [9] Pallu, Saleh. (2011). Diktat Sediment Transport. Makassar: Teknik Sipil Universitas Hasanuddin
- [10] Pangestu Hendra dan Haki Helmi. (2013). "Analisis Angkutan Sedimen Total Pada Sungai Dawas Kabupaten Musi Banyuasin" Jurnal Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.
- [11] Prasetyo Dani, Dermawan Very, Primantyo Andre H. (2015). "Kajian Penanganan Sedimentasi Sungai Banjir Kanal Barat Kota Semarang". Jurnal Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang. Purnawan, Syahrul, Setiawan, Ichsan,
- [12] Rezky Pratama Patta Noer. (2017). "Analisis Angkutan Sedimen Dasar Pada Saluran Terbuka Dengan Variasi Butiran Sedimen". Skripsi Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
- [13] Sarimai Andi. (2017). "Analisis Karakteristik Sedimentasi Sungai Bialo Dengan Aplikasi Surface Water Modeling System" Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar.

- [14] Suhardiman, (2012). "Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir Dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) Pada Sub Das Walanae Hilir". Skripsi Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin Makassar.
- [15] Syaiful, Rizal Muhammad. (2014). "Analisis Muatan Sedimen Di Hilir Sungai Maros Kabupaten Maros". Skripsi Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN