

KARAKTERISTIK KOEFISIEN KEKASARAN MANNING PADA ALIRAN DENGAN TRANSPOR SEDIMEN DI SUNGAI WAY LUNIK

Ayudia Hardiyani Kiranaratri,^{1)a)} Bagus Prayogi Pangestu²⁾, dan Miskar Maini^{3*)a)}

Email: ayudia.hardiyani@si.itera.ac.id^{1)a)}, bprayogi97@gmail.com²⁾, dan
miskar.maini@si.itera.ac.id^{3*)a)}

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera

^aKelompok Keilmuan Rekayasa Sumber Daya Air dan Manajemen Rekayasa Konstruksi, Institut
Teknologi Sumatera

*Penulis Korepondensi

ABSTRAK

Pengerukan dasar sungai dapat mengubah nilai kekasaran saluran, yang pada akhirnya memengaruhi karakteristik aliran. Sungai Way Lunik mengalami pengerukan secara berkala, sehingga nilai kekasaran dasarnya terus mengalami perubahan. Nilai kekasaran ini menjadi faktor penting dalam memperkirakan debit aliran secara lebih akurat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai kekasaran Sungai Way Lunik berdasarkan parameter hidraulik, geometri, dan gradasi material dasar saluran, serta mengevaluasi perbedaan hasil perhitungan debit aliran dari berbagai metode. Metode yang digunakan meliputi perhitungan nilai kekasaran Manning berdasarkan parameter hidraulik, pengamatan langsung menggunakan konsep Cowan, serta perhitungan koefisien kekasaran berdasarkan gradasi material dasar sungai dengan pendekatan metode Anderson, Raudviki, Meyer, Subramaya, Bajorunas, dan Wong Parker. Data yang digunakan terdiri dari data primer dan sekunder terkait material angkutan sedimen. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai koefisien kekasaran Manning berdasarkan parameter hidraulik menggunakan Persamaan Manning berkisar antara 0,022–0,079, sedangkan berdasarkan parameter geometri dari Metode Cowan sebesar 0,0165. Sementara itu, nilai koefisien kekasaran Manning berdasarkan gradasi material dasar sungai (*bed-load*) bervariasi, dengan rincian sebagai berikut: Metode Anderson (0,0076–0,0117), Metode Raudviki (0,0106–0,0152), Metode Meyer (0,0097–0,0140), Metode Subramaya (0,0119–0,0171), Metode Bajorunas (0,0086–0,0123), dan Metode Wong Parker (0,0109–0,0156). Analisis penyimpangan debit terhadap debit terukur menunjukkan bahwa pendekatan berbasis parameter geometri memiliki penyimpangan sebesar 58%, parameter hidraulik sebesar 91%, sedangkan metode berbasis gradasi material menunjukkan penyimpangan lebih dari 100%. Hasil ini mengindikasikan bahwa perhitungan koefisien kekasaran Manning berbasis parameter geometri cenderung lebih sesuai untuk diterapkan pada Sungai Way Lunik, mengingat bentuk penampang sungai yang tidak beraturan mencerminkan kondisi lapangan secara lebih akurat.

Kata kunci: Koefisien Kekasaran Manning, Karakteristik Aliran, Gradasi Material, Sungai Way Lunik

ABSTRACT

*River bed dredging can change channel roughness values, affecting flow characteristics. The way Lunik River experiences regular dredging, the fundamental roughness value continues to change. This roughness value is an important factor in estimating flow discharge more accurately. This research aims to determine the roughness value of the Way Lunik River based on hydraulic parameters, geometry, and gradation of channel bed materials, as well as evaluate differences in flow discharge calculation results from various methods. The methods used include calculating the Manning roughness value based on hydraulic parameters, direct observation using the Cowan concept, and calculating the roughness coefficient based on the gradation of river bed material using the Anderson, Raudviki, Meyer, Subramaya, Bajorunas, and Wong Parker method approach. The data used consists of primary and secondary data related to sediment transport materials. The analysis results show that the Manning roughness coefficient value based on hydraulic parameters using the Manning Equation ranges between 0.022–0.079, while based on the geometric parameters of the Cowan Method, it is 0.0165. Meanwhile, the Manning roughness coefficient value based on riverbed material gradation (*bed-load*) varies, with the following details: Anderson method (0.0076–0.0117), Raudviki method (0.0106–0.0152), Meyer method (0.0097–0.0140), Subramaya Method (0.0119–0.0171), Bajorunas Method*

(0.0086–0.0123), and Wong Parker Method (0.0109–0.0156). Analysis of discharge deviations from measured discharge shows that the geometric parameter-based approach has a deviation of 58% and hydraulic parameters of 91%. In comparison, the material gradation-based method shows a more than 100% deviation. These results indicate that Manning roughness coefficient calculations based on geometric parameters tend to be more suitable for application to the Way Lunik River, considering that the irregular cross-sectional shape of the river reflects field conditions more accurately.

Keywords: Manning Roughness Coefficient, Flow Characteristics, Material Gradation, Way Lunik River

1. PENDAHULUAN

Sungai Way Lunik merupakan salah satu sungai utama di Kota Bandar Lampung yang memiliki peran strategis sebagai penyangga utama bagi wilayah Kecamatan Panjang dan sekitarnya. Sungai ini sering mengalami akumulasi sedimentasi yang signifikan, sehingga diperlukan pengerukan dasar secara berkala untuk mempertahankan kapasitas aliran (Sonia et al., 2020). Akumulasi sedimen yang berlebihan tidak hanya mempengaruhi kapasitas sungai, tetapi juga berdampak pada perubahan karakteristik aliran, termasuk nilai kekasaran hidraulik dasar saluran yang bergantung pada jenis dan distribusi material sedimen (Julien, 2010).

Proses transpor sedimen di dalam sungai mempengaruhi kekasaran aliran yang dinyatakan dalam nilai koefisien kekasaran Manning. Nilai ini berperan penting dalam analisis hidraulik karena berpengaruh terhadap estimasi kapasitas debit sungai (Chow, 1959; Maini, 2024; Maini et al., 2020, 2021, 2024; Maini & Legono, 2021). Koefisien kekasaran Manning bergantung pada berbagai faktor, termasuk parameter hidraulik, geometri saluran, serta karakteristik material dasar Sungai (Arcement & Schneider, 1989a). Dalam konteks sungai alami, nilai kekasaran sering kali lebih kompleks dibandingkan dengan saluran buatan, karena dipengaruhi oleh elemen tambahan seperti vegetasi, tingkat kelokan (*meander*), dan keberadaan bangunan pengendali banjir (Barnes, 1969).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menentukan nilai kekasaran *Manning*. Salah satu metode klasik dikemukakan oleh (Chow, 1959), yang mengklasifikasikan nilai kekasaran berdasarkan jenis material dasar sungai dan kondisi permukaan saluran. Selain itu, metode empiris lain telah dikembangkan, seperti pendekatan *Strickler* (1923) dalam (Bonetti et al., 2017; Serrano-Núñez et al., 2022; Strohmeier et al., 2014) yang menghubungkan nilai kekasaran dengan diameter butiran sedimen, serta metode Cowan (1956) yang mempertimbangkan faktor tambahan seperti pengaruh vegetasi dan perubahan morfologi Sungai (Garde & Ranga Raju, 1966). Untuk kondisi sungai dengan kompleksitas tinggi, pendekatan komposit sering digunakan dengan mempertimbangkan kombinasi berbagai elemen yang mempengaruhi hambatan aliran (Aldridge & Garrett, 1973).

Dalam penelitian ini, nilai koefisien kekasaran *Manning* di Sungai Way Lunik ditentukan berdasarkan tiga parameter utama: (1) parameter hidraulik, yang meliputi penampang basah, jari-jari hidraulik, dan kemiringan saluran (Chow, 1959); (2) parameter geometri, yang mencakup variasi penampang, tingkat kelokan, pengaruh bangunan pengendali, serta keberadaan vegetasi di sepanjang Sungai (Cowan, 1956; Dingman, 2023); dan (3) parameter gradasi dasar saluran, yang didasarkan pada distribusi ukuran butiran sedimen. Beberapa metode yang digunakan untuk menganalisis distribusi butiran sedimen antara lain metode Anderson (1948) (dalam Maini, 2024), Raudkivi (1998) (dalam Maini, 2024), Meyer-Peter & Müller (1948) (dalam Maini, 2024), Subramanya (2008), Bajorunas (1975) (dalam Maini, 2024), serta (Wong & Parker, 2006).

Sungai Way Lunik mengalami hambatan aliran yang signifikan akibat sedimentasi dan faktor hidraulik lainnya, yang menyebabkan keterlambatan aliran air menuju hilir. Hal ini berkontribusi terhadap peningkatan risiko luapan air dan potensi banjir di kawasan sekitar sungai. Oleh karena itu, studi mengenai hambatan aliran dan nilai kekasaran *Manning* sangat penting untuk memahami mekanisme aliran serta mendukung upaya mitigasi risiko banjir. Dengan memahami hubungan antara karakteristik hidraulik dan nilai kekasaran, pengelolaan sungai dapat dilakukan dengan lebih efektif untuk mengurangi risiko bencana hidrologi di kawasan perkotaan (Arcement & Schneider, 1989b).

2. KAJIAN PUSTAKA

Banyak penelitian telah mengkaji nilai koefisien kekasaran *Manning*, salah satunya oleh Maini et al., (2024), yang mengevaluasi nilai koefisien kekasaran *Manning* pada aliran bersedimen dengan kondisi *equilibrium* dan *non-equilibrium*. Dalam penelitian tersebut, Maini et al., (2024) mengusulkan metode serta persamaan baru secara teoritis untuk menentukan koefisien kekasaran *Manning* pada aliran bersedimen. Pendekatan ini didasarkan pada pengukuran distribusi kecepatan pada titik $0.1H$ dan $0.2H$, dengan nilai n -*Manning* yang dihitung secara komposit dalam satu penampang saluran menggunakan metode Lotter (1933). Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan sedimen dalam aliran cenderung meningkatkan nilai koefisien kekasaran *Manning* dibandingkan dengan aliran air jernih.

Zhang et al., (2010) melakukan penelitian eksperimental di laboratorium untuk mengkaji pengaruh sedimen terhadap koefisien kekasaran *Manning* pada aliran superkritis. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan saluran berkemiringan dasar yang besar guna mensimulasikan kondisi aliran berenergi tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kehadiran sedimen dalam aliran menyebabkan peningkatan nilai koefisien kekasaran *Manning*. Secara spesifik, nilai koefisien kekasaran *Manning* pada aliran bermuatan sedimen tercatat 51,27% lebih tinggi dibandingkan dengan aliran tanpa muatan sedimen, yang mengindikasikan bahwa keberadaan sedimen berkontribusi terhadap peningkatan hambatan aliran dan perubahan karakteristik hidrauliknya.

Maini & Legono (2021) melakukan penelitian berjudul "Sensitivitas Hasil Uji Model Fisik terhadap Perbedaan Penggunaan Angka Kekasaran n -*Manning*." Dalam penelitian ini, Maini & Legono (2021) mereview penelitian Allen (2014) yang membahas skala sensitivitas penggunaan n -*Manning* dalam uji model fisik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensitivitas skala penggunaan n -*Manning* dari pengujian model sebesar 27,27%, sedangkan skala perencanaan sebesar 25%, sehingga terdapat deviasi sebesar 2,27% dengan rata-rata tingkat kesalahan mencapai 31%. Temuan ini mengindikasikan bahwa dalam rezim aliran yang sangat kasar, *prototipe* tidak dapat sepenuhnya beroperasi dalam kondisi tersebut tanpa adanya penyesuaian. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan khusus dalam penskalaan kekasaran agar hasil pengujian model fisik tetap akurat dan dapat diaplikasikan secara lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya.

Maini et al., (2021) melakukan penelitian mengenai "Efek Angkutan Sedimen *Bed-load* terhadap Hambatan Aliran di Sungai Baturusa, Pulau Bangka." Penelitian ini menggunakan metode pengukuran sampel sedimen *bed-load* di Sungai Baturusa yang dianalisis dengan metode saringan untuk menentukan gradasi dan jenis butiran sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien *Manning* yang diperoleh untuk perhitungan debit estimasi memiliki selisih yang signifikan. Selain itu, terdapat hubungan antara rasio kecepatan aliran dan kecepatan geser terhadap nilai koefisien *Manning*, di mana peningkatan rasio tersebut menyebabkan tren penurunan nilai koefisien *Manning*, dan sebaliknya. Demikian pula, bertambahnya nilai *Froude Number* berkontribusi terhadap penurunan koefisien *Manning*. Tingkat *error* dalam estimasi debit melebihi batas yang diharapkan, dengan deviasi mencapai 33,33% dibandingkan estimasi awal sebesar 25%. Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa angkutan sedimen memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai koefisien kekasaran di Sungai Baturusa.

Pengaruh angkutan sedimen, khususnya sedimen *bed-load*, terhadap koefisien hambatan aliran seperti koefisien kekasaran *Manning* dan koefisien gesekan lainnya telah menjadi topik penelitian yang luas dalam bidang hidraulika. Berbagai studi eksperimental di laboratorium telah dilakukan untuk mengkaji fenomena ini, menunjukkan bahwa interaksi antara sedimen dan aliran dapat secara signifikan mempengaruhi karakteristik hidraulik suatu sistem sungai. Sejumlah penelitian terdahulu telah membuktikan secara eksperimental bagaimana perubahan kondisi angkutan sedimen dapat mengubah nilai koefisien hambatan aliran (Bergeron & Carbonneau, 1999; Calomino et al., 2004; Campbell et al., 2005; Carbonneau & Bergeron, 2000; Gao & Abrahams, 2004; Gaudio et al., 2011; Omid & Habibzadeh, 2006).

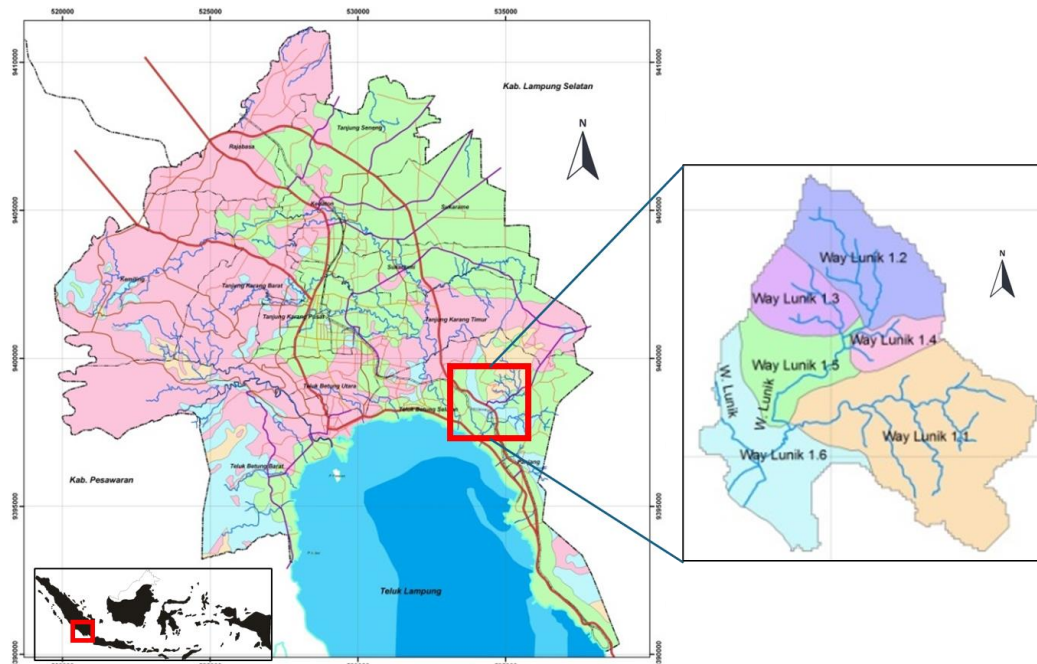
Berdasarkan kajian pustaka dari penelitian-penelitian terdahulu yang sejenis, penelitian mengenai koefisien kekasaran *Manning* yang dilakukan secara langsung di lapangan masih terbatas, terutama pada sungai dengan kondisi aliran bersedimen, seperti Sungai Way Lunik. Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas estimasi koefisien kekasaran *Manning* menggunakan metode laboratorium dan pemodelan numerik, seperti studi oleh Arcement & Schneider (1989b) yang

mengembangkan pendekatan empiris untuk menentukan nilai kekasaran berdasarkan karakteristik fisik sungai, serta penelitian Barnes (1969) yang membandingkan nilai kekasaran dari berbagai tipe sungai dengan kondisi aliran yang berbeda. Selain itu, penelitian oleh Chow (1959) telah menjadi referensi utama dalam menentukan nilai *Manning* berdasarkan karakteristik geomorfologi sungai. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya dilakukan pada sungai dengan aliran yang lebih stabil atau tidak secara spesifik mempertimbangkan pengaruh transport sedimen terhadap perubahan kekasaran hidraulik. Beberapa studi eksperimental juga telah mengkaji hubungan antara sedimen dan koefisien kekasaran, seperti penelitian oleh Ferguson (2010) yang menunjukkan bahwa kehadiran sedimen dapat menyebabkan variabilitas nilai *Manning*.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, kajian ini memiliki keunikan dalam beberapa aspek. Pertama, penelitian ini dilakukan secara langsung di lapangan dengan mempertimbangkan kondisi aktual Sungai Way Lunik yang memiliki karakteristik aliran bersedimen. Kedua, pendekatan yang digunakan tidak hanya mempertimbangkan parameter hidraulik dasar tetapi juga variabilitas nilai *Manning* akibat perubahan kondisi aliran dan karakteristik morfologi sungai. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai koefisien kekasaran yang lebih representatif guna meningkatkan keakuratan perhitungan hidraulik di Sungai Way Lunik. Selain itu penelitian-penelitian di Sungai Way Lunik yang dikaji hanya sebatas besaran debit banjir dan prediksi angkutan sedimen saja seperti yang dilakukan oleh Sonia et al., (2020) sehingga penelitian tentang koefisien kekasaran Manning belum pernah dilakukan

3. METODE PENELITIAN

Data pendukung penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung, yang mencakup penilaian terhadap titik-titik untuk penentuan nilai *n-Manning* dengan menggunakan parameter geometri serta penentuan koordinat lokasi. Sementara itu, data sekunder mencakup informasi yang diperoleh dari penelitian terdahulu, yaitu penelitian (Sonia et al., (2020) yang membahas sedimentasi dan laju sedimentasi di Sungai Way Lunik. Berdasarkan data sekunder tersebut dan data primer survey penilaian koefisien kekasaran *Manning* di lapangan menurut metode Cowan (1956), penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai Koefisien *Manning* pada lokasi yang telah ditentukan koordinatnya, serta mengidentifikasi penyimpangan debit yang terjadi pada setiap titik penampang melintang (*cross-section*). Peta lokasi dapat dilihat pada Gambar 1.

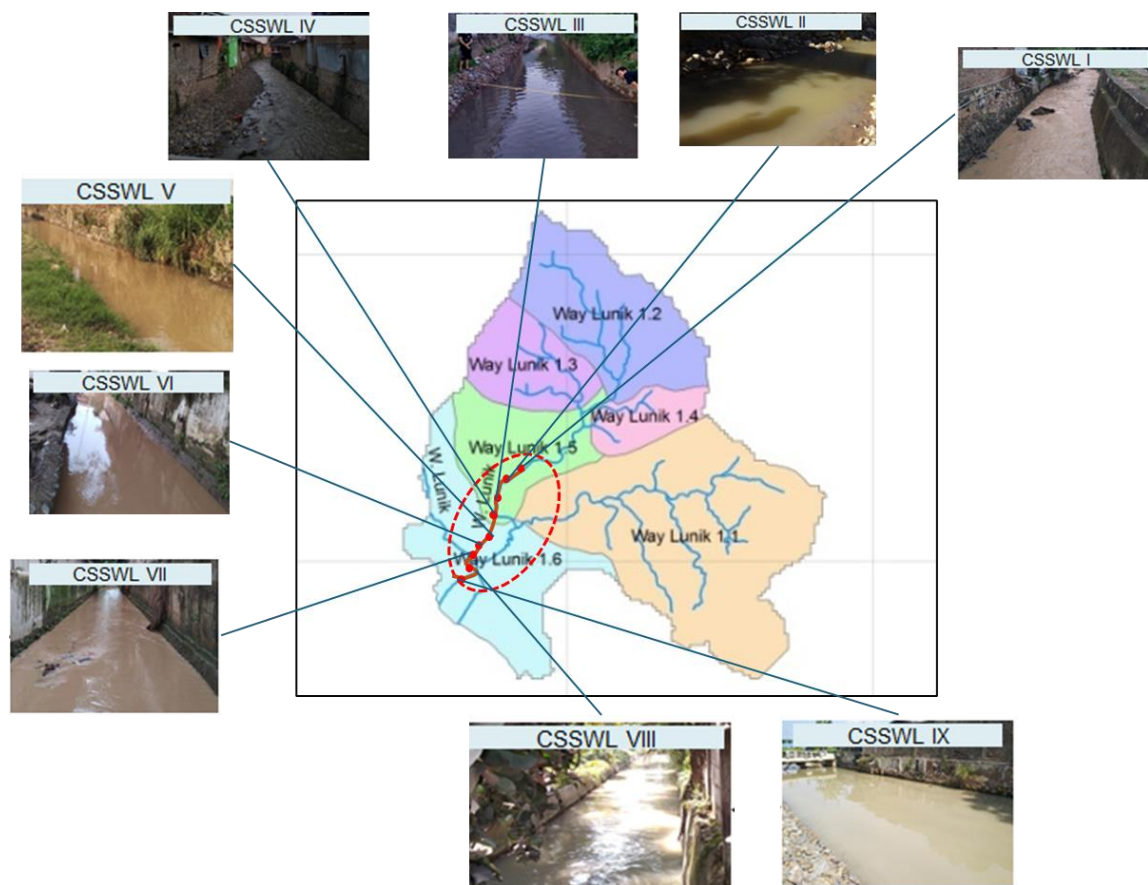


Gambar 1. Lokasi penelitian di DAS Way Lunik Kota Bandar Lampung Provinsi Lampung

Dalam penelitian ini, Sungai Way Lunik dibagi menjadi sembilan lokasi pengukuran (*cross-section*) yang mencakup wilayah dari hulu hingga hilir. Lokasi paling hulu terletak di dekat area tambang batu, yang dapat memengaruhi karakteristik hidraulik dan sedimen di sepanjang sungai. Kesembilan titik pengukuran ini digunakan untuk menganalisis profil penampang sungai serta kecepatan aliran, yang menjadi parameter penting dalam memahami dinamika hidraulik sungai.

Setiap titik pengukuran diberi kode identifikasi **CSSWL**, yang merupakan singkatan dari **Cross Section Sungai Way Lunik**. Kode ini terdiri dari "CS" sebagai singkatan dari *Cross-Section*, serta "SWL" yang merujuk pada Sungai Way Lunik. Selain itu, setiap titik diberi nomor menggunakan angka Romawi I hingga IX, yang menunjukkan urutan penampang lintang dari hulu ke hilir Sungai (lihat Gambar 2). Penomoran ini bertujuan untuk memudahkan identifikasi dan analisis karakteristik hidraulik di setiap segmen sungai, sehingga memungkinkan perbandingan perubahan pola aliran dan morfologi sungai di sepanjang jalur pengukuran.

Salah satu titik lokasi pengambilan sampel yang menjadi referensi dalam penelitian ini adalah *Cross Section* Sungai Way Lunik (CSSWL), yang sebelumnya telah digunakan dalam penelitian oleh Sonia (2020). Hal ini memungkinkan validasi data serta perbandingan kondisi sungai dari waktu ke waktu, terutama dalam menilai dampak aktivitas tambang batu terhadap perubahan karakteristik aliran dan penampang sungai.



Gambar 2. Lokasi pengambilan sampel material sedimen dan pengukuran di Sungai Way Lunik

Metode analisis perhitungan koefisien kekasaran *Manning* dilakukan berdasarkan parameter hidraulik utama, yaitu kecepatan aliran (U), jari-jari hidraulik (R), dan kemiringan energi atau kemiringan dasar sungai (S). Nilai koefisien kekasaran tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan (1), yang mengacu pada Persamaan Manning (Manning, 1891).

$$n = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{U} \quad (1)$$

Metode komponen berbasis geometri sungai memberikan pendekatan untuk memperkirakan koefisien kekasaran *Manning* (n) dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang memengaruhi kekasaran aliran (Arcement & Schneider, 1989a; Chow, 1959; Cowan, 1956). Sebagian besar metode ini merupakan variasi dari teknik yang dikembangkan oleh Cowan (1956), yang membagi perkiraan kekasaran menjadi enam faktor utama, yaitu ukuran sedimen, derajat keseragaman, variasi penampang saluran, pengaruh bangunan penghalang, vegetasi, serta tingkat belokan (*meander*) Sungai dapat dihitung dari Persamaan (2).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) n_5 \quad (2)$$

Pendekatan *Cowan* memungkinkan analisis yang lebih sistematis dalam menentukan nilai koefisien kekasaran berdasarkan karakteristik fisik sungai. Nilai koefisien kekasaran *Manning* menurut metode *Cowan* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Koefisien Kekasaran n Manning Menurut Cowan (1956)

Keadaan Saluran		Harga	
Material dasar	Tanah	n_0	0,02
	Batu		0,025
	Gravel halus		0,024
	Gravel kasar		0,028
Tingkat ketidak seragaman saluran	Halus	n_1	0
	Agak halus		0,005
	Sedang		0,01
	Kasar		0,02
Variasi penampang melintang saluran	Lambat laun	n_2	0
	Berubah (kadang-kadang)		0,005
	Sering berubah		0,010-0,015
Pengaruh adanya bangunan, penyempitan dll. Pada penampang melintang	Diabaikan	n_3	0
	Agak berpengaruh		0,010-0,015
	Cukup berpengaruh		0,020-0,030
	Terlalu berpengaruh		0,040-0,060
Tanaman	Rendah	n_4	0,005-0,010
	Menengah/Sedang		0,010-0,015
	Tinggi		0,020-0,030
	Sangat Tinggi		0,040-0,060
Tingkat dari pada meander	Rendah	n_5	1
	Menengah		1,15
	Tinggi		1,3

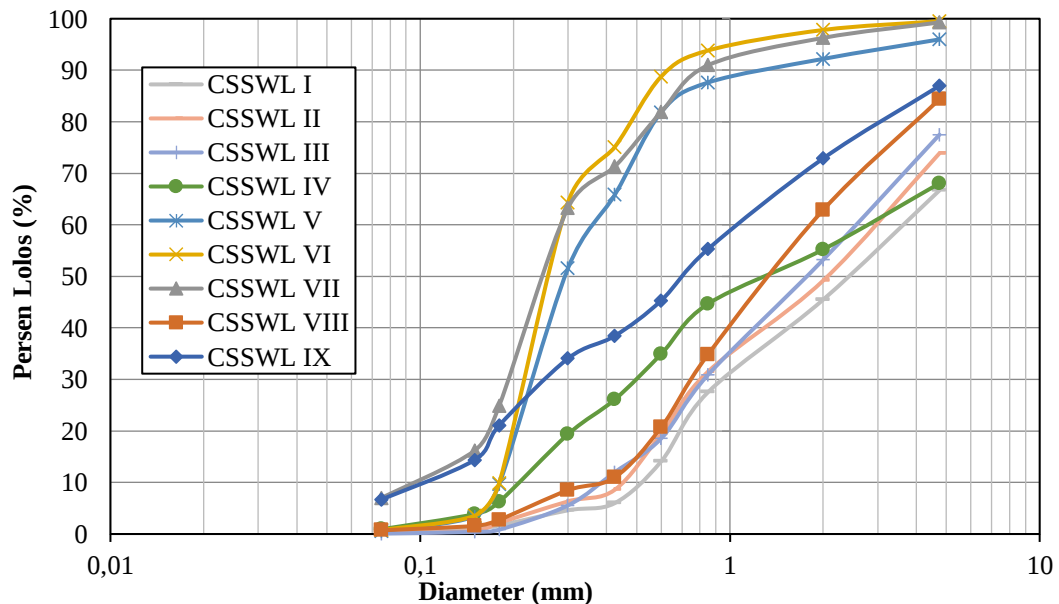
Selain metode parameter hidraulik dan geometri, perhitungan koefisien kekasaran *Manning* dapat didasarkan pada karakteristik material sedimen dasar sungai (*bed-load*) dari berbagai Persamaan yang telah dikembangkan oleh banyak peneliti. Estimasi nilai koefisien kekasaran *Manning* dapat ditentukan dari dari ukuran diameter butiran material dasar Sungai dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rumus Kekasaran *n*-Manning dengan Material Dasar

Metode	Rumus	Persamaan
Anderson	$n = 0,0395 (d_{50})^{1/5}$	(3)
Raudviki	$n = 0,042 (d_{65})^{1/6}$	(4)
Meyer	$n = \frac{d_{50}^{1/6}}{26}$	(5)
Subramaya	$n = 0,047 d_{50}^{1/6}$	(6)
Bajorunas	$n = 0,034 d_{50}^{1/6}$	(7)
Wong Parker	$n = 0,043 d_{50}^{1/6}$	(8)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis gradasi butiran sedimen yang diperoleh dari pengujian sampel *bed-load* di Laboratorium Mekanika Tanah Institut Teknologi Sumatera (ITERA) menunjukkan variasi karakteristik material sedimen di sepanjang sungai. Pada *Cross-Section* I dan II, 50% sedimen berupa kerikil dengan diameter 2,29 mm. Sementara itu, *Cross-Section* III dan IV didominasi oleh pasir sangat besar dengan diameter masing-masing 1,83 mm dan 1,43 mm. Perubahan karakteristik sedimen semakin terlihat pada *Cross-Section* V, VI, dan VII, di mana 50% material sedimen terdiri dari pasir sedang dengan diameter masing-masing 0,29 mm, 0,26 mm, dan 0,26 mm. Pada *Cross-Section* VIII, jenis sedimen kembali mengalami perubahan dengan dominasi pasir sangat besar berdiameter 1,7 mm. Terakhir, di *Cross-Section* IX, sedimen yang dominan adalah pasir kasar dengan diameter 0,72 mm. Pola distribusi ukuran sedimen ini mencerminkan variasi hidrodinamika aliran sungai serta pengaruh transporta sedimen dari hulu ke hilir. Analisis ini memberikan gambaran yang jelas tentang distribusi ukuran butiran sedimen di sepanjang Sungai Way Lunik dengan karakteristik sedimen secara dominan berupa pasir, hasil uji gradasi butiran tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

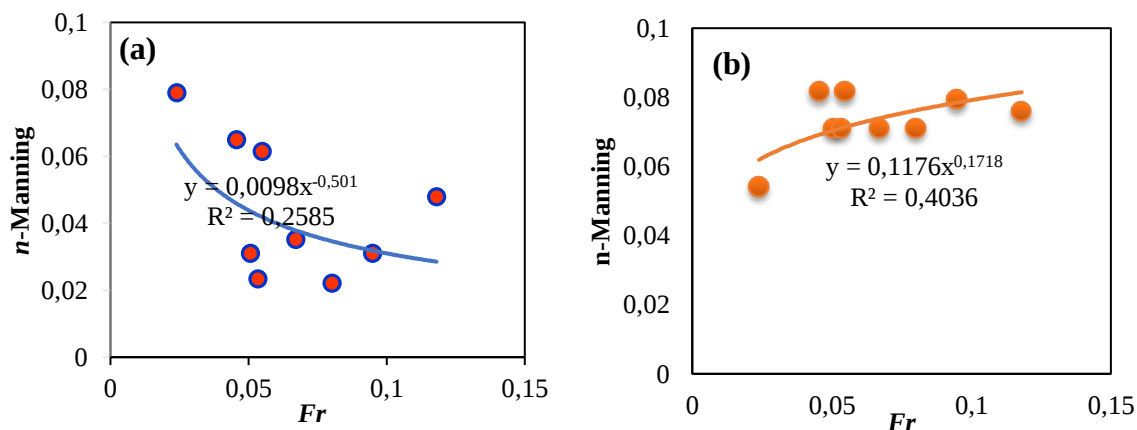
Gambar 3. Kurva distribusi ukuran butiran material dasar (*bed-load*) Sungai Way Lunik

Hasil perhitungan nilai koefisien kekasaran *Manning* berdasarkan parameter hidraulik menunjukkan bahwa nilai kekasaran pada Sungai Way Lunik berada dalam rentang 0,022–0,079. Variasi nilai kekasaran ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik penampang serta variasi kecepatan aliran di setiap *section* sungai. Faktor-faktor tersebut berkontribusi terhadap distribusi kekasaran yang tidak seragam di sepanjang sungai, sehingga setiap *section* memiliki nilai kekasaran yang berbeda-beda.

Analisis lebih lanjut yang disajikan pada Gambar 4(a) menunjukkan hubungan antara koefisien kekasaran dengan parameter hidraulik, khususnya bilangan *Froude* (*Fr*). Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar nilai *Fr*, semakin kecil nilai kekasaran, dan sebaliknya. Temuan ini mengindikasikan bahwa jenis aliran yang tercermin dari nilai *Fr* memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran, yang selanjutnya dapat memengaruhi karakteristik aliran di sungai.

Analisis nilai koefisien kekasaran *Manning* berdasarkan faktor geometri dilakukan melalui metode pengamatan langsung di lapangan. Observasi ini bertujuan untuk menilai karakteristik fisik sungai, seperti bentuk penampang, kondisi tebing, jenis material dasar sungai, serta vegetasi di sekitar aliran. Hasil pengamatan yang dilakukan secara langsung menjadi dasar dalam penentuan nilai koefisien kekasaran, sehingga pendekatan ini memberikan gambaran nyata mengenai kondisi hidraulik sungai yang diamati.

Berdasarkan evaluasi menggunakan tabel *Cowan*, diperoleh nilai koefisien kekasaran *Manning* dengan rentang antara 0,054 hingga 0,08165. Variasi nilai ini menunjukkan adanya perbedaan kondisi geometri di beberapa lokasi pengamatan. Namun, secara umum, nilai kekasaran yang dihitung berdasarkan parameter geometri cenderung seragam di setiap *cross-section*. Hal ini disebabkan oleh kemiripan karakteristik fisik sungai pada setiap section, terutama dalam hal jenis material dasar dan bentuk penampang yang relatif konsisten di sepanjang aliran.



Gambar 4. Pengaruh bilangan *Froude* terhadap koefisien kekasaran *Manning*: (a) berdasarkan parameter hidraulik, (b) berdasarkan metode geometri

Gambar 4(b) menunjukkan tren data analisis hubungan antara nilai koefisien kekasaran yang diperoleh melalui metode geometri terhadap bilangan *Froude* (*Fr*). Hasil analisis mengindikasikan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan antara koefisien kekasaran dengan bilangan *Froude* ketika nilai kekasaran relatif seragam di setiap *cross-section*. Hal ini terlihat dari pola data yang menunjukkan bahwa meskipun nilai kekasaran cenderung besar, nilai bilangan *Froude* tetap berfluktuasi tanpa adanya tren yang jelas.

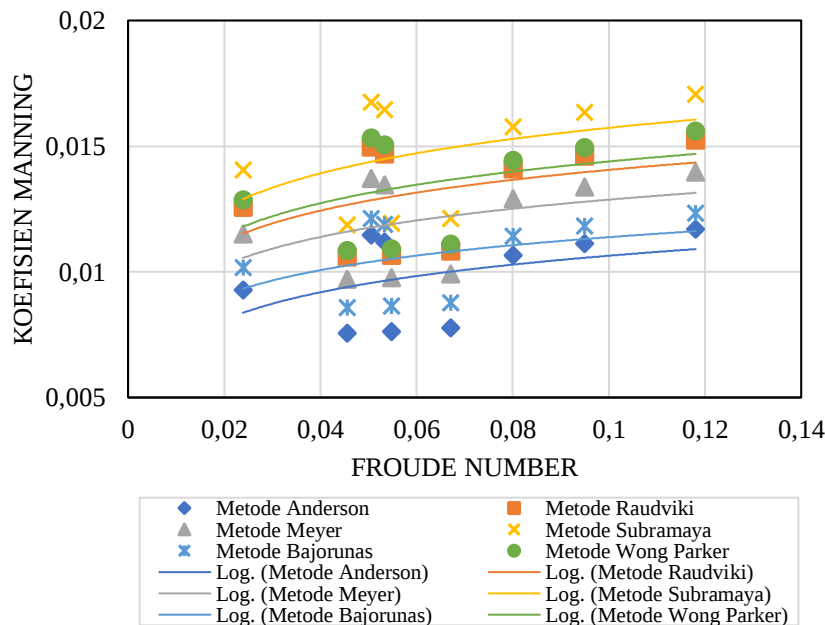
Fenomena tersebut terjadi karena kesamaan nilai koefisien kekasaran di berbagai *cross-section* yang menyebabkan tidak adanya variasi signifikan dalam interaksi antara parameter geometri dan bilangan *Froude*. Dengan kata lain, jika nilai kekasaran bersifat seragam di sepanjang aliran, maka bilangan *Froude* tidak memberikan dampak yang berarti terhadap nilai kekasaran. Hasil ini mempertegas bahwa jenis aliran yang tercermin dari bilangan *Froude* tidak selalu menjadi faktor penentu dalam variasi koefisien kekasaran, terutama ketika karakteristik geometri sungai relatif homogen.

Koefisien kekasaran *Manning* yang ditentukan berdasarkan diameter material dasar Sungai dari hasil perhitungan yang disajikan dalam Tabel 3, terlihat bahwa nilai koefisien kekasaran bervariasi di setiap lokasi yang ditinjau, tergantung pada metode perhitungan yang digunakan. Nilai koefisien kekasaran berdasarkan parameter hidraulik berkisar antara 0,022 hingga 0,079, sementara berdasarkan parameter geometri berkisar antara 0,054 hingga 0,081. Perbedaan ini menunjukkan bahwa faktor geometri saluran dan kondisi hidraulik memberikan kontribusi yang berbeda terhadap nilai kekasaran aliran. Selain itu, metode empiris untuk menentukan nilai kekasaran menunjukkan

variasi nilai, misalnya Metode *Anderson* memiliki rentang antara 0,007 hingga 0,011, sedangkan Metode *Subramaya* memiliki nilai yang lebih bervariasi, yaitu antara 0,011 hingga 0,026. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan metode yang tepat dalam menentukan koefisien kekasaran sangat penting, terutama dalam perhitungan hidraulik saluran terbuka yang bergantung pada kondisi fisik dan karakteristik aliran di lokasi.

Tabel 3. Hasil perhitungan koefisien kekasaran *Manning* berdasarkan material sedimen (*bed-load*)

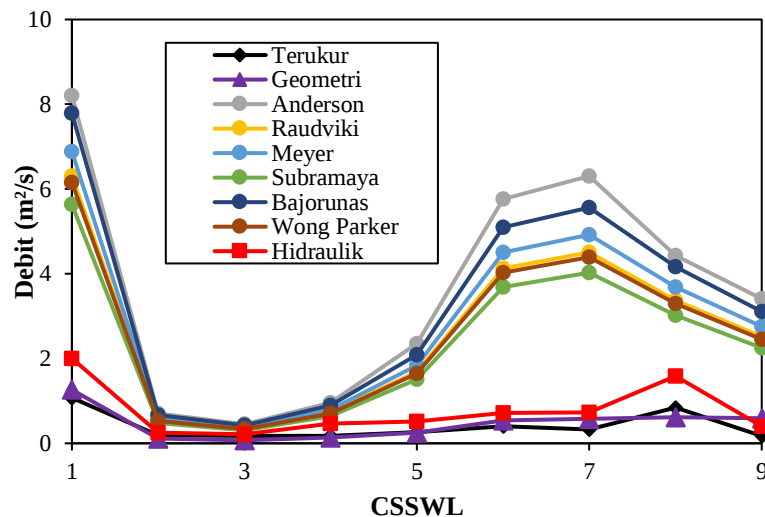
Lokasi	Metode					
	Anderson	Raudviki	Meyer	Subramaya	Bajorunas	Wong Parker
CSSWL I	0,011	0,015	0,014	0,017	0,012	0,015
CSSWL II	0,011	0,015	0,013	0,016	0,012	0,015
CSSWL III	0,011	0,014	0,013	0,016	0,011	0,015
CSSWL IV	0,010	0,014	0,012	0,015	0,011	0,014
CSSWL V	0,007	0,010	0,009	0,012	0,008	0,011
CSSWL VI	0,007	0,010	0,009	0,011	0,008	0,010
CSSWL VII	0,007	0,010	0,009	0,011	0,008	0,010
CSSWL VIII	0,011	0,014	0,013	0,026	0,011	0,015
CSSWL IX	0,009	0,012	0,011	0,014	0,010	0,012



Gambar 5. Pengaruh bilangan *Froude* terhadap koefisien kekasaran Manning berdasarkan metode material dasar sedimen (*bed-load*)

Jika dibandingkan dengan bilangan *Froude* (Fr), terlihat bahwa nilai Fr juga mengalami variasi di setiap lokasi yang ditinjau, dengan rentang antara 0,02 hingga 0,12. Lokasi dengan nilai Fr lebih kecil, seperti CSSWL IX (0,02), menunjukkan bahwa aliran cenderung bersifat subkritis, yang berarti aliran lebih terkendali dan memiliki energi potensial yang lebih besar dibanding energi kinetiknya. Sebaliknya, lokasi dengan nilai Fr lebih tinggi, seperti CSSWL I (0,12), menunjukkan kecenderungan aliran yang lebih mendekati kondisi transisi atau bahkan superkritis. Variasi nilai Fr ini berkaitan erat dengan nilai kekasaran *Manning*, di mana semakin tinggi kekasaran suatu saluran, maka kecepatan aliran akan lebih tereduksi, yang pada akhirnya berdampak pada besaran bilangan *Froude*. Oleh karena itu, dalam perencanaan hidraulik, hubungan antara koefisien *Manning* dan bilangan *Froude* perlu dianalisis lebih lanjut agar dapat memahami karakteristik aliran serta implikasi hidrauliknya terhadap desain saluran dan struktur pengendalian aliran.

Tahap selanjutnya penggunaan koefisien kekasaran *Manning* untuk menghitung debit aliran Sungai Way Lunik. Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa terdapat penyimpangan pada debit yang didapatkan. Dengan adanya penyimpangan tersebut dapat dihitung berapa persen penyimpangan debit yang terjadi pada Sungai Way Lunik jika dihitung menggunakan beberapa parameter dan metode.



Gambar 6. Perbandingan antara debit aliran terukur dengan debit berdasarkan koefisien kekasaran *Manning* berbagai Metode

Hasil analisis *error* debit sebesar 58% pada metode geometri, yang tergolong cukup besar. Hal ini disebabkan oleh variasi material dasar Sungai Way Lunik, di mana hasil pengujian sampel material dasar sungai di laboratorium dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa dominasi material berupa kerikil mencapai 50%. Selain itu, beberapa faktor lain yang turut mempengaruhi besarnya *error* dalam metode geometri meliputi penyempitan saluran, pembangunan bangunan di sekitar sungai, keberadaan vegetasi di tepi sungai, perubahan bentuk saluran secara perlahan, serta kondisi *meander* sungai yang menyebabkan perubahan pola aliran. Kombinasi dari faktor-faktor tersebut berkontribusi terhadap ketidaksesuaian antara debit yang dihitung dengan kondisi aktual di lapangan, sehingga menyebabkan tingkat *error* yang cukup signifikan dalam metode geometri.

Sementara itu, hasil analisis *error* debit pada metode hidraulik mencapai 91%, yang menunjukkan nilai *error* yang lebih besar dibandingkan metode geometri. Faktor yang mempengaruhi *error* dalam metode hidraulik meliputi luas penampang basah, keliling penampang basah, dan kemiringan dasar sungai. Namun, metode ini tidak memperhitungkan jenis material dasar dan tebing sungai, yang berkontribusi terhadap besarnya *error* yang dihasilkan. Selain itu, pendekatan gradasi material dasar sungai menggunakan enam metode, yaitu Metode *Anderson* (865%), Metode *Raudviki* (608%), Metode *Meyer* (673%), Metode *Subramaya* (533%), Metode *Bajorunas* (775%), dan Metode *Wong Parker* (592%), menunjukkan nilai *error* yang sangat besar, melebihi 100%. Penyebab utama dari tingginya *error* pada keenam metode tersebut adalah karena metode ini hanya mempertimbangkan parameter gradasi dasar sungai tanpa memperhitungkan gradasi dinding sungai, bentuk penampang sungai, serta kemiringan dasar sungai yang berpengaruh terhadap kecepatan aliran dan perhitungan debit. Selain itu, pendekatan ini tidak memasukkan faktor eksternal seperti penyempitan saluran, pembangunan di sekitar sungai, vegetasi, serta kondisi *meander* yang dapat memengaruhi pola aliran. Faktor lain yang turut berkontribusi adalah keterbatasan dalam pengambilan sampel material dasar sungai, di mana hanya material yang dapat diuji di laboratorium yang digunakan, sementara batu besar dan sampah rumah tangga yang ada di dasar sungai tidak dimasukkan sebagai bagian dari analisis gradasi butiran material, seperti d_{50} dan d_{65} . Hal ini menyebabkan hasil perhitungan debit dengan metode gradasi material dasar sungai memiliki tingkat *error* yang jauh lebih besar dibandingkan metode lainnya.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien kekasaran *Manning* di Sungai Way Lunik bervariasi pada setiap segmen pengukuran, mencerminkan perbedaan karakteristik aliran dan morfologi sungai. Berdasarkan parameter hidraulik, nilai berkisar antara 0,022 hingga 0,079, sedangkan faktor geometri menunjukkan rentang 0,054 hingga 0,082. Nilai kekasaran dari gradasi butiran material dasar lebih kecil, yaitu 0,0076 hingga 0,0171. Semakin kecil nilai kekasaran, semakin besar debit yang dapat dialirkan, sementara nilai bilangan *Froude* (*Fr*) yang lebih besar berkorelasi dengan kekasaran yang lebih kecil. Dari berbagai metode yang diuji, pendekatan geometri dengan tabel *Cowan* memberikan hasil paling akurat dengan penyimpangan terkecil (58%), sehingga direkomendasikan sebagai metode terbaik dalam menentukan koefisien kekasaran *Manning* di Sungai Way Lunik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses pengukuran dan survei lapangan, khususnya Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Hidraulika Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Sumatera atas dedikasi dan kerja samanya. Kami juga menyampaikan apresiasi kepada BBWS Mesuji-Sekampung atas dukungan mereka dalam menyediakan informasi serta data sekunder yang sangat berharga, yang turut berperan penting dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldridge, B. N., & Garrett, J. M. (1973). Roughness coefficients for stream channels in Arizona. In *Open-File Report* (Issue February).
- Arcement, G. J., & Schneider, V. R. (1989a). Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains. *US Geological Survey Water-Supply Paper*, 2339.
- Arcement, G. J., & Schneider, V. R. (1989b). Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains (USA. Department of the interior. Geological survey water-supply paper 2339). *United States Geological Survey Water-Supply Paper* 2339.
- Barnes, H. H. (1969). Roughness characteristics of natural channels. *Journal of Hydrology*, 7(3). [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(69\)90113-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(69)90113-9)
- Bergeron, N. E., & Carbonneau, P. (1999). The effect of sediment concentration on bedload roughness. *Hydrological Processes*, 13(16). [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1085\(199911\)13:16<2583::aid-hyp939>3.3.co;2-j](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1085(199911)13:16<2583::aid-hyp939>3.3.co;2-j)
- Bonetti, S., Manoli, G., Manes, C., Porporato, A., & Katul, G. G. (2017). Manning's formula and Strickler's scaling explained by a co-spectral budget model. *Journal of Fluid Mechanics*, 812. <https://doi.org/10.1017/jfm.2016.863>
- Calomino, F., Gaudio, R., & Miglio, A. (2004). Effect of bed-load concentration on friction factor in narrow channels. In *River Flow 2004*. <https://doi.org/10.1201/b16998-37>
- Campbell, L., McEwan, I., Nikora, V., Pokrajac, D., Gallagher, M., & Manes, C. (2005). Bed-Load Effects on Hydrodynamics of Rough-Bed Open-Channel Flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(7). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2005\)131:7\(576\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2005)131:7(576))
- Carbonneau, P. E., & Bergeron, N. E. (2000). The effect of bedload transport on mean and turbulent flow properties. *Geomorphology*, 35(3–4). [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00046-5](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00046-5)
- Chow, V. Te. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. Ven Te Chow. McGraw-Hill, New York, 1959. xviii+ 680 pp. Illus. \$17. *Science*, 131(3408).
- Cowan, W. L. (1956). Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural Engineering*, 37(7).
- Dingman, S. L. (2023). Introduction to Fluvial Hydraulics. In *Fluvial Hydraulics*. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195172867.003.0001>
- Ferguson, R. (2010). Time to abandon the Manning equation? In *Earth Surface Processes and Landforms* (Vol. 35, Issue 15). <https://doi.org/10.1002/esp.2091>
- Gao, P., & Abrahams, A. D. (2004). Bedload transport resistance in rough open-channel flows. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(4). <https://doi.org/10.1002/esp.1038>
- Garde, R. J., & Rangga Raju, K. G. (1966). Resistance Relationships for Alluvial Channel Flow. *Journal of the Hydraulics Division*, 92(4). <https://doi.org/10.1061/jycej.0001498>

- Gaudio, R., Miglio, A., & Calomino, F. (2011). Friction factor and von Kármán's in open channels with bed-load. *Journal of Hydraulic Research*, 49(2). <https://doi.org/10.1080/00221686.2011.561001>
- Julien, P. Y. (2010). Erosion and sedimentation, Second edition. In *Erosion and Sedimentation, Second Edition* (Vol. 9780521830386). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511806049>
- Lotter, K. G. (1933). Considerations on Hydraulic design of channel with different roughness of walls. *Transactions of All-Union Scientific Research Institution of Hydraulic Engineering*, 9.
- Maini, M. (2024). Pengaruh Transpor Sedimen terhadap Koefisien Kekasaran Manning di Saluran Terbuka [Dissertation, Universitas Gadjah Mada]. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/243794>
- Maini, M., Kironoto, B. A., Istiarto, & Pamudji, A. P. (2024). Evaluating Manning's Roughness Coefficient for Flows with Equilibrium and Non-equilibrium Sediment Transport. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 18(1), 65–80. <https://doi.org/10.14525/JJCE.v18i1.06>
- Maini, M., & Legono, D. (2021). Sensitivitas Hasil Uji Model Fisik Terhadap Perbedaan Penggunaan Angka Kekasaran n-Manning. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 9(1). <https://doi.org/10.33019/fropil.v9i1.2249>
- Maini, M., Legono, D., & Laksitaningtyas, A. P. (2020). Evaluasi Estimasi Koefisien Kekasaran pada Eksperimen Model Fisik. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 19(1). <https://doi.org/10.35760/dk.2020.v19i1.3464>
- Maini, M., Mashuri, M., & Susanti, J. E. (2021). Efek Angkutan Sedimen Bed-Load Terhadap Hambatan Aliran di Sungai Baturusa Pulau Bangka. *Jurnal Teknik Sipil*, 28(1). <https://doi.org/10.5614/jts.2021.28.1.5>
- Manning, R. (1891). On the flow of water in open channels and pipes. *Trans. Institution Civil Engineering*, 20.
- Omid, M. H., & Habibzadeh, A. R. (2006). Effect of bedload movement on supercritical flow resistance in rigid boundary channels. *International Symposium on Hydraulic Structures - XXII Congreso Latinoamericano de Hidraulica*.
- Serrano-Núñez, V., Watson-Hernández, F., Guzmán-Arias, I., Chavarría-Pizarro, L., & Quesada-Alvarado, F. (2022). Correction of Empirical Equations Known as “Strickler-Type” for the Calculation of the Manning's Roughness Coefficient for Costa Rica's Northern Pacific Conditions. *Hydrology*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/hydrology9050071>
- Sonia, Darsono, S. L. W., & Maini, M. (2020). Studi Karakteristik Sedimen dan Laju Angkutan Sedimen di Sungai Way Lunik. In Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (Ed.), *Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI) ke-37* (pp. 397–408). Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia .
- Strohmeier, S. M., Nouwakpo, S. K., Huang, C. H., & Klik, A. (2014). Flume experimental evaluation of the effect of rill flow path tortuosity on rill roughness based on the Manning-Strickler equation. *Catena*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.01.011>
- Wong, M., & Parker, G. (2006). Reanalysis and Correction of Bed-Load Relation of Meyer-Peter and Müller Using Their Own Database. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(11). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2006\)132:11\(1159\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2006)132:11(1159))
- Zhang, G. H., Luo, R. T., Cao, Y., Shen, R. C., & Zhang, X. C. (2010). Impacts of sediment load on Manning coefficient in supercritical shallow flow on steep slopes. *Hydrological Processes*, 24(26). <https://doi.org/10.1002/hyp.7892>