

# Persamaan Koefisien Kekasaran Manning Menggunakan 2 Titik Kecepatan di Belokan Saluran.

Muhammad Hiqni Musyaffa<sup>1</sup>, Bambang Agus Kironoto<sup>1\*</sup>, Adam Pamudji Rahardjo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

\*Corresponding author: kironoto@ugm.ac.id

## INTISARI

Koefisien kekasaran Manning ( $n$ ) merupakan parameter kunci dalam analisis hidraulika, namun penentuannya di belokan saluran menjadi rumit akibat distribusi aliran yang tidak seragam. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja metode penentuan koefisien kekasaran Manning menggunakan pengukuran kecepatan dua titik, yang awalnya dikembangkan untuk saluran lurus, kemudian diterapkan pada belokan saluran. Metode ini mengandalkan distribusi logaritmik untuk menghitung nilai  $n$  dari suatu pasangan kecepatan. Pada penelitian ini digunakan dua pasangan kecepatan yang telah digunakan pada saluran lurus yaitu kedalaman relatif  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$  serta,  $z/D = 0,2$  dan  $0,4$ . Nilai koefisien kekasaran Manning menggunakan 2 titik kecepatan perlu dikonversi menjadi koefisien kekasaran Manning komposit dengan metode Lotter, Einstein & Banks, dan Colebatch. Kinerja metode ini dihubungkan dengan membandingkan hasilnya terhadap nilai koefisien kekasaran Manning konvensional. Hasil menunjukkan bahwa pasangan kecepatan  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$  dapat memberikan nilai koefisien kekasaran Manning yang dapat lebih mendekati koefisien kekasaran Manning konvensional.

**Kata kunci:** Manning, Kecepatan, Logaritmik, Belokan, Komposit.

## 1 PENDAHULUAN

Resistensi aliran merupakan parameter fundamental dalam analisis hidraulika saluran terbuka yang secara langsung dapat memengaruhi distribusi kecepatan (Rohmanto et al., 2021). Besaran hambatan aliran berbanding terbalik dengan kecepatan aliran, peningkatan resistensi akan menurunkan kecepatan (Aliza Ahmad et al., 2018). Nilai hambatan atau resistensi aliran umumnya dikuantifikasi melalui beberapa parameter seperti faktor gesekan Darcy–Weisbach ( $f$ ), koefisien kekasaran Manning ( $n$ ), atau koefisien Chezy ( $C$ ) (Niazkar et al., 2019) yang ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$\sqrt{\frac{f}{8}} = \frac{n\sqrt{g}}{k_n R^{1/6}} = \frac{\sqrt{g}}{C} = \frac{\sqrt{gRS}}{V} \quad (1)$$

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi hambatan aliran antara lain jenis material dan bentuk penampang saluran, kekentalan aliran yang juga dipengaruhi kandungan konsentrasi sedimen, dan kemiringan saluran (Chow, 1959). Penentuan nilai hambatan yang akurat menjadi krusial dengan tantangan sensitivitas pada aliran. Tantangan dalam menentukan koefisien kekasaran Manning menjadi semakin kompleks pada kondisi aliran tidak seragam, seperti pada belokan saluran. Pada kondisi ini, gaya sentrifugal mendorong aliran ke arah belokan luar dan memicu aliran sekunder. (Blanckaert & de Vriend, 2004) (Blanckaert & de Vriend, 2004). Oleh karena itu, kecepatan aliran sisi belokan luar akan lebih tinggi daripada sisi belokan dalam (Blanckaert & De Vriend, 2003). Fenomena tersebut menyebabkan distribusi kecepatan dan tegangan geser menjadi tidak seragam, sehingga penentuan koefisien kekasaran Manning menjadi lebih rumit.

Beberapa penelitian telah mencoba mengembangkan metode dalam penentuan koefisien kekasaran di belokan saluran. Yang et al. (2019) menggunakan koefisien kekasaran vegetasi untuk mengetahui pengaruh vegetasi pada belokan saluran. Pendekatan pada kondisi belokan saluran memerlukan perkembangan metode. Hu & Yu (2023) menggabungkan metode *Reynold Stress Equation Model* (RSM) dan *Volume of Fluid* (VOF). Pemodelan aliran dilakukan Majeed & Ghazal (2020) dengan melihat pengaruh material kubus buatan dengan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) di belokan saluran.

Pengaruh koefisien kekasaran Manning memiliki keterikatan dengan kecepatan aliran. Maini et al. (2024) mengembangkan penentuan koefisien kekasaran Manning menggunakan dua titik pengukuran kecepatan. Persamaan

koefisien kekasaran Manning menggunakan dua titik pengukuran kecepatan mengandalkan persamaan distribusi logaritmik yang digambarkan pada Persamaan 2.

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left( \frac{y}{k_s} \right) + Br \quad (2)$$

Maini et al. (2024) menyimpulkan pasangan kecepatan  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$  memberikan nilai yang paling baik karena daerah tersebut cenderung dapat lebih mengikuti distribusi logaritmik. Penggunaan pasangan kecepatan  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$  yang berada di *inner region* ( $z/D < 0,2$ ) memberikan tantangan yang lebih dalam pengukuran kecepatan karena terlalu dekat dengan dasar saluran. Sehingga Maini et al. (2025) mencoba meneliti pasangan kecepatan  $z/D = 0,2$  dan  $0,4$  yang memberikan hasil dapat mengimbangi pasangan kecepatan  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$ . Selain itu Dahlan et al. (2025) menerapkan metode tersebut dengan menambahkan penggunaan pasangan kecepatan yang berada di *outer region* ( $z/D \geq 0,2$ ) dengan pasangan kecepatan  $z/D = 0,2$  dan  $0,8$ . Kecepatan yang berada di *outer region* dianggap lebih menggambarkan kondisi kecepatan rata-rata. Semua penerapan pada penelitian sebelumnya di aplikasi pada saluran lurus dimana aliran cenderung seragam. Akan tetapi, penerapan metode tersebut belum dieksplorasi pada kondisi belokan saluran dimana aliran memiliki karakteristik yang tidak seragam.

Karakteristik aliran di belokan saluran berpotensi menyimpang dari distribusi logaritmik. Kondisi ini menjadi hipotesis dasar dalam pengujian metode penentuan koefisien kekasaran Manning menggunakan dua titik kecepatan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi performa persamaan koefisien kekasaran Manning dua titik kecepatan yang diterapkan pada kondisi belokan saluran. Hasil penelitian ini akan menunjukkan relevansi metode persamaan koefisien kekasaran Manning menggunakan dua titik kecepatan dengan pengaruh aliran di belokan saluran.

## 2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan persamaan koefisien kekasaran Manning berbasis dua titik kecepatan pada kondisi belokan saluran. Distribusi kecepatan pada kondisi ini berbeda dibandingkan dengan saluran lurus. Perubahan distribusi kecepatan aliran pada belokan saluran dapat menimbulkan potensi terjadinya penyimpangan distribusi logaritmik. Maka pada penelitian ini ingin menguji penerapan persamaan koefisien kekasaran Manning menggunakan dua titik pengukuran kecepatan pada kondisi belokan saluran.

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder dari penelitian sebelumnya yaitu Ardian (2016); Maini (2016) yang berlokasi di Selokan Mataram Yogyakarta. Terdapat 3 lokasi belokan saluran dimana pada setiap belokan saluran terbagi menjadi 5 penampang. Penampang FT1S1, FT1S2, FT1S3, FT1S4, dan FT1S5 berada di lokasi 1, FT2S1, FT2S2, FT2S3, FT2S4, dan FT2S5 berada di lokasi 2, dan FT3S1, FT3S2, FT3S3, FT3S4, dan FT3S5 berada di lokasi 3. Setiap penampang terbagi menjadi 11 pias (V) dengan pias V1 berada paling dekat dengan belokan dalam dan pias V11 berada paling dekat dengan belokan luar. Setiap pias memperoleh pengukuran kecepatan di beberapa titik kedalaman dari dasar sampai permukaan aliran. Selain itu terdapat data laboratorium yang juga menjadi data sekunder dari penelitian Sumiadi (2014) yang memiliki 2 jenis tipe saluran yaitu *fixed bed* dan *erodible bed*. Pada setiap jenis saluran memiliki 10 penampang yang terdiri dari 2 penampang sebelum belokan yaitu jarak 2,5 m sebagai Hu 2,5 dan 1,5 m sebagai Hu 1,5. Kemudian 7 penampang yang berada di belokan saluran mulai dari  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $180^\circ$ . Penampang terakhir berada setelah belokan yang berjarak 1 m sebagai Hi 1. Setiap penampang terdiri dari 5 pias R105, R115, R125, R135, R145 yang merupakan radius jarak dari titik referensi.

Persamaan koefisien kekasaran Manning menggunakan 2 titik kecepatan berawal dari hubungan persamaan Chezy dengan persamaan distribusi kecepatan oleh Colebrook & White (1937).

$$\frac{u_z}{u_*} = \frac{C}{\sqrt{g}} = 5.75 \log \left( \frac{30z}{2\delta + k_s} \right) \quad (3)$$

Dengan  $u_z$  = kecepatan pengukuran titik (m/s),  $u_*$  = kecepatan geser (m/s),  $C$  = koefisien Chezy,  $g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ),  $z$  = posisi kecepatan pengukuran titik dari dasar saluran (m),  $\delta$  = posisi kecepatan maksimum dari dasar saluran (m),  $k_s$  = kekasaran hidraulik Nikuradse.

Dari Persamaan 3, Maini et al. (2024) mensubstitusi pasangan kecepatan yang digunakan dengan mengganti  $u_z$  menjadi  $u_b$  dan  $u_a$ . Posisi  $u_b$  dan  $u_a$  berada di  $z = aH$  dan  $z = bH$  dengan  $H$  = kedalaman aliran setiap pias (m). Perbandingan persamaan dari kedua parameter kecepatan tersebut dilambangkan dengan  $\xi = u_b/u_a$ . Dari

perbandingan persamaan tersebut dihubungkan dengan persamaan koefisien kekasaran Manning Chezy  $n = R^{1/6}/C$  dengan  $R$  diganti menjadi  $H$ , sehingga didapatkan bentuk persamaan menjadi,

$$n_{y/B} = \frac{H^{1/6}}{\sqrt{g \left( \frac{(5.75 \log(b) + 2.28) - \xi(2.28 + 5.75 \log(a))}{(\xi - 1)} \right)}} \quad (4)$$

Persamaan 4 akan digunakan pada beberapa pasangan kecepatan diantaranya  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$ ,  $z/D = 0,2$  dan  $0,4$ . Koefisien kekasaran Manning yang didapatkan dari Persamaan 4 mewakili setiap bagian pias dalam satu penampang. Koefisien kekasaran Manning dari Persamaan 4 perlu dikonversi agar mewakili kondisi penampang. Konversi nilai koefisien kekasaran Manning menggunakan beberapa metode persamaan koefisien kekasaran Manning komposit diantaranya.

$$\text{Lotter (1933), } n_c = \frac{PR^{5/3}}{\sum \frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i}} \quad (5)$$

$$\text{Einstein \& Banks (1950), } n_c = \left[ \frac{1}{P} \sum (n_i^2 P_i) \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$\text{Colebatch (1941), } n_c = \left[ \frac{\sum n_i^{3/2} A_i}{A} \right]^{2/3} \quad (7)$$

Dengan  $P$ ,  $R$ , dan  $A$  merupakan keliling basah, radius hidraulik, dan luas pada penampang. Sedangkan  $n_i = n_{y/B}$  merupakan nilai koefisien kekasaran Manning menggunakan 2 titik pengukuran kecepatan di masing-masing pias,  $P_i$ ,  $R_i$ , dan  $A_i$  merupakan keliling basah, radius hidraulik, dan luas pada setiap pias. Nilai koefisien kekasaran Manning komposit dibandingkan dengan dengan persamaan koefisien kekasaran Manning Persamaan 8.

$$\text{Manning (1891), } n = \frac{1}{U} R^{2/3} S^{1/2} \quad (8)$$

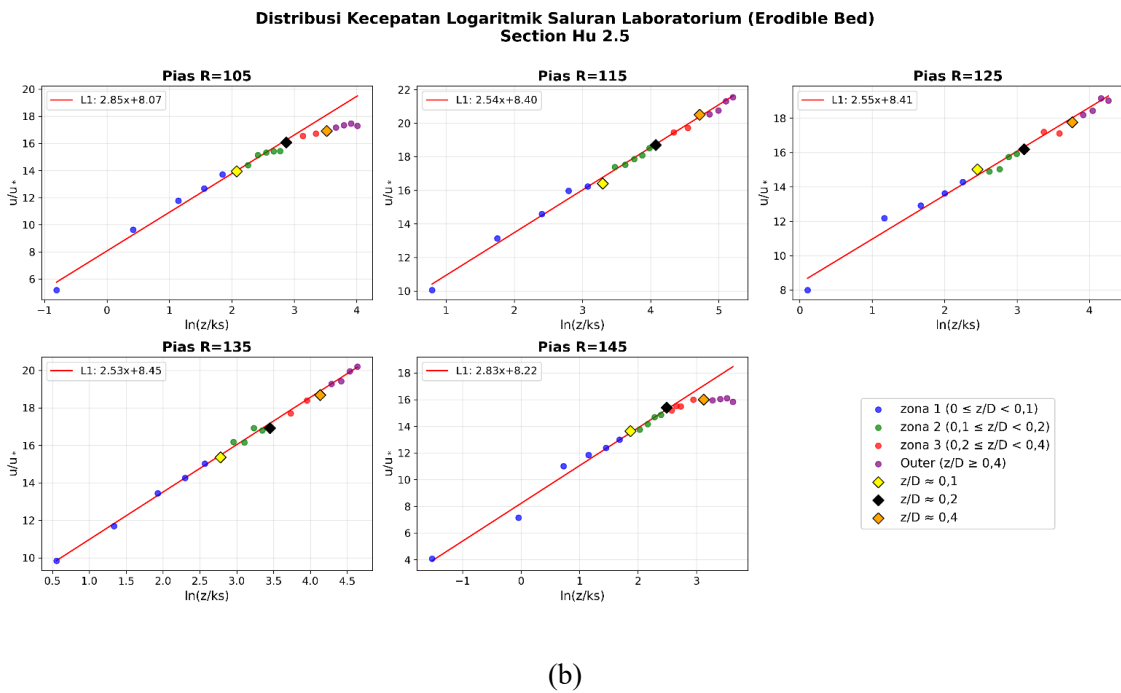
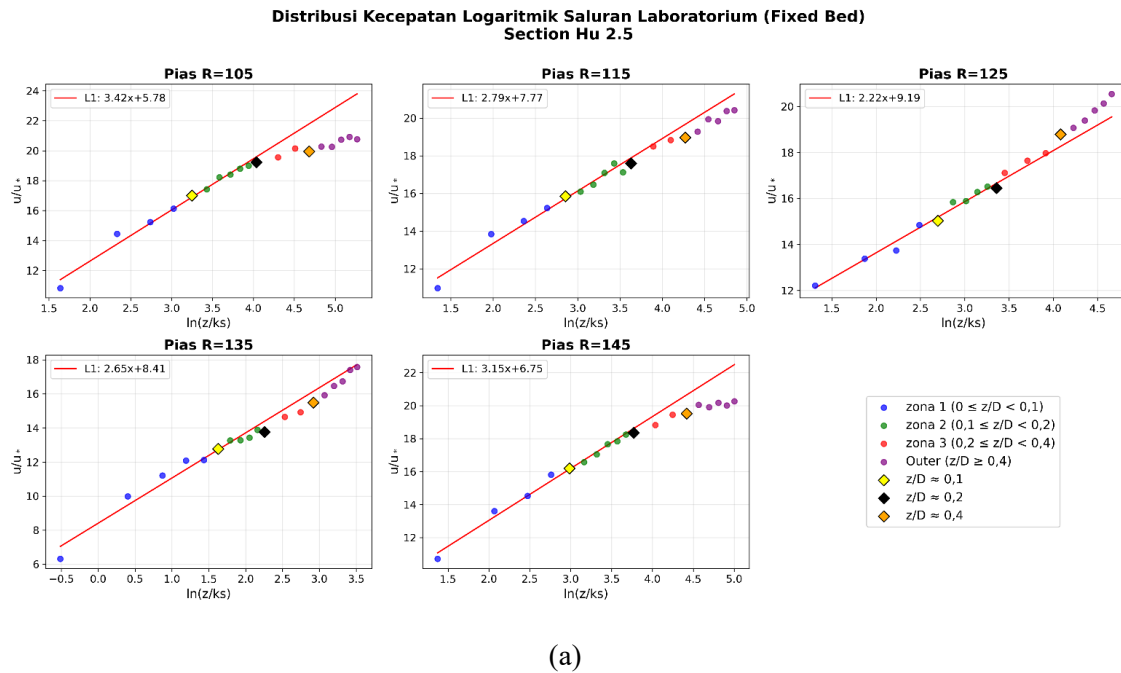
Nilai koefisien kekasaran Manning menggunakan Persamaan 4 dari beberapa pasangan kecepatan dan beberapa metode komposit dibandingkan dengan nilai koefisien kekasaran Manning Persamaan 8. Selain itu perubahan nilai koefisien kekasaran Manning setiap penampang juga perlu dilihat karena efek dari belokan saluran.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Distribusi Kecepatan Aliran

Persamaan koefisien kekasaran Manning menggunakan 2 titik pengukuran kecepatan dari Persamaan 4 mengandalkan distribusi logaritmik sehingga pasangan kecepatan yang digunakan perlu dilihat kondisi distribusinya terhadap distribusi logaritmik. Grafik distribusi logaritmik ditunjukkan dengan menghubungkan  $u/u_*$  vs  $\ln(z/k_s)$  dari Persamaan 2. Data distribusi kecepatan dibagi menjadi 4 zona yang terdiri dari zona 1 (" $0 \leq z/D < 0,1$ ") dengan simbol bulat biru, zona 2 (" $0,1 \leq z/D < 0,2$ ") dengan simbol bulat hijau, zona 3 (" $0,2 \leq z/D < 0,4$ ") dengan simbol bulat merah, dan zona *outer* (" $z/D \geq 0,4$ ") dengan simbol bulat ungu. Selain itu juga terdapat pasangan kecepatan yang digunakan yaitu  $z/D \approx 0,1$  dengan simbol berlian kuning,  $z/D \approx 0,2$  dengan simbol berlian hitam, dan  $z/D \approx 0,4$  dengan simbol berlian oranye. Garis merah merupakan persamaan distribusi logaritmik yang semakin dekat dengan garis tersebut maka semakin kecil penyimpangan kecepatan terhadap distribusi logaritmik.

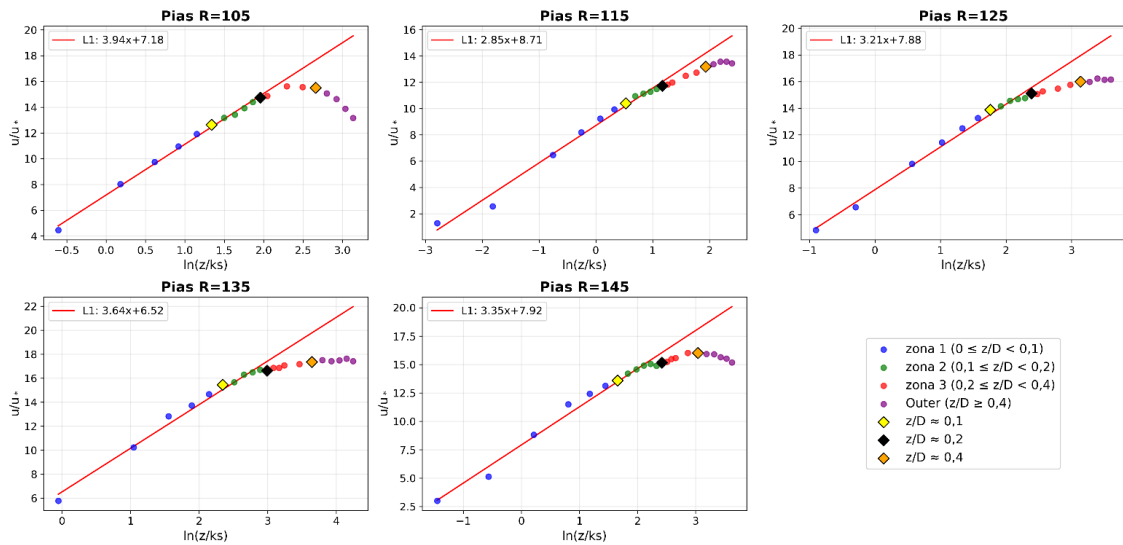
Pada Gambar 1 menunjukkan grafik distribusi logaritmik bagian penampang sebelum belokan saluran yang berjarak 2,5 m di saluran laboratorium. Penampang sebelum belokan saluran masih berada pada kondisi saluran lurus dimana distribusi kecepatan aliran masih cukup baik mengikuti distribusi logaritmik. meskipun terdapat sedikit penyimpangan pada pias tepi saluran R105 dan R145 khususnya bagian *outer region*.



Gambar 1 Grafik distribusi logaritmik penampang 2,5 m sebelum belokan saluran di saluran laboratorium (a) *fixed bed* (b) *erodible bed* (Sumiadi, 2014).

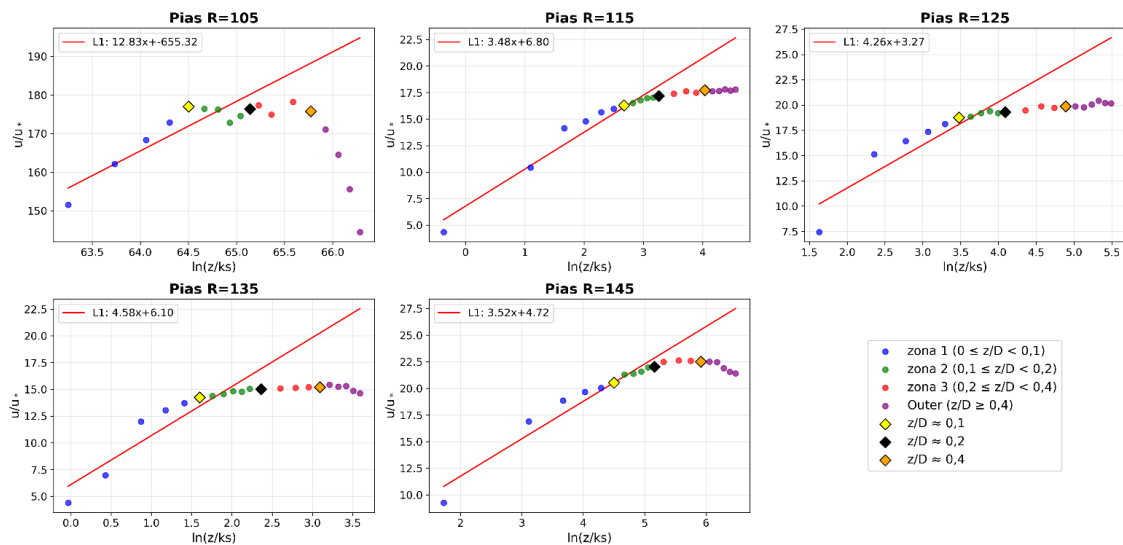
Pada awal belokan dengan sudut belokan sebesar  $0^\circ$  distribusi kecepatan masih belum begitu dipengaruhi akibat belokan saluran. Efek belokan belum memberikan pengaruh yang signifikan sehingga distribusi kecepatan memiliki kemiripan dengan yang terjadi di saluran lurus. Ketika sudut belokan mengalami peningkatan pengaruh belokan mulai berdampak pada distribusi kecepatan. Bagian penampang sudut belokan  $60^\circ$  saluran laboratorium menunjukkan penyimpangan yang signifikan pada semua pias khususnya pada *outer region* baik pada *fixed bed* maupun *erodible bed*. Penyimpangan distribusi logaritmik terjadi akibat adanya efek belokan yang membentuk aliran sekunder. Keberadaan aliran sekunder mengakibatkan terjadinya penurunan kecepatan dan pergeseran kecepatan maksimum. Kecepatan maksimum tidak berada di permukaan aliran tetapi di bawah permukaan aliran yang disebut *dip-phenomenon* (Ahamed & Kundu, 2022). Grafik distribusi logaritmik penampang sudut belokan  $60^\circ$  saluran laboratorium ditunjukkan Gambar 2.

**Distribusi Kecepatan Logaritmik Saluran Laboratorium (Fixed Bed)  
Section 60**



(a)

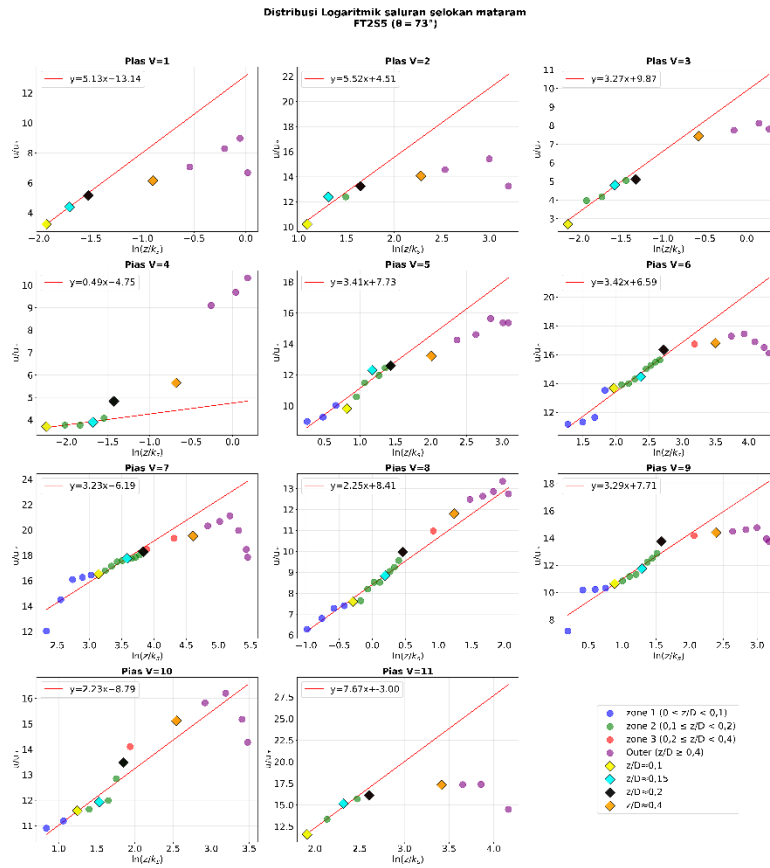
**Distribusi Kecepatan Logaritmik Saluran Laboratorium (Erodible Bed)  
Section 60**



(b)

Gambar 2 Grafik distribusi logaritmik penampang sudut belokan  $60^\circ$  di saluran laboratorium (a) *fixed bed* (b) *erodible bed* (Sumiadi, 2014).

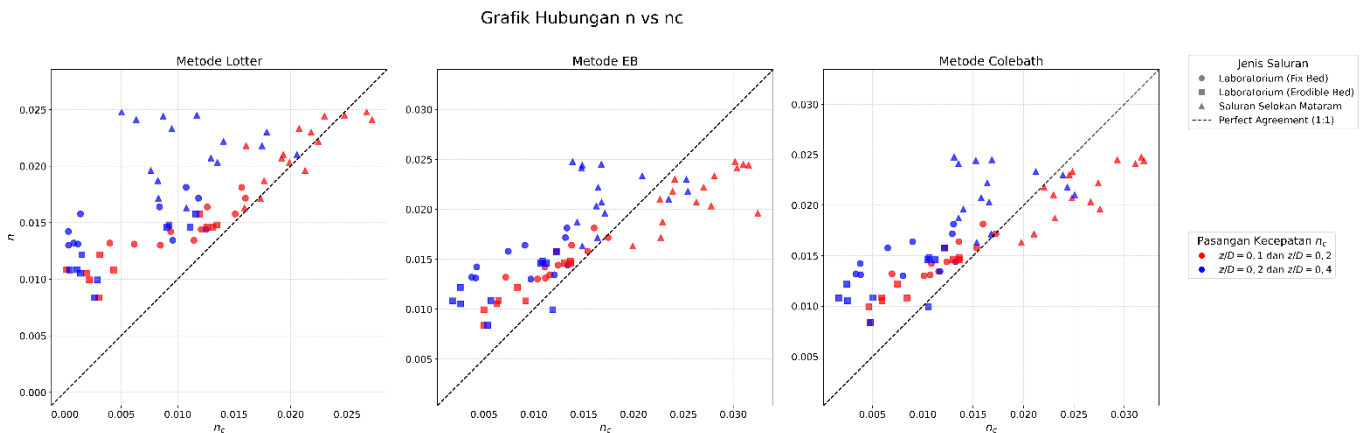
Data Selokan mataram terdiri dari 5 penampang mulai dari awal belokan sampai akhir belokan. Semua penampang di awal belokan memiliki sudut belokan  $0^\circ$  yang belum begitu menunjukkan pengaruh dari belokan terhadap distribusi kecepatan. Sedangkan pada bagian penampang selanjutnya sudut belokan mulai bervariasi mengalami peningkatan. Peningkatan sudut belokan memberikan pengaruh dari belokan yang mengakibatkan penyimpangan kecepatan terhadap distribusi logaritmik khususnya pada *outer region*. Sudut belokan tertinggi terdapat pada penampang FT2S5 sebesar  $73^\circ$  dimana grafik distribusinya ditunjukkan pada Gambar 3. Secara keseluruhan *outer region* memang sulit untuk mengikuti distribusi logaritmik akibat pengaruh belokan. Sedangkan *inner region* masih dapat mengikuti distribusi logaritmik.



Gambar 3 Grafik distribusi logaritmik saluran Selokan Mataram penampang FT2S5 (Ardian, 2016; Maini, 2016).

### 3.2 Koefisien kekasaran Manning

Berdasarkan pasangan kecepatan yang telah ditentukan maka dibuat menjadi pasangan kecepatan yaitu  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$ ,  $0,2$  dan  $0,4$ . Setiap pasangan kecepatan kemudian di aplikasikan ke persamaan koefisien kekasaran Manning menggunakan 2 titik kecepatan menggunakan Persamaan 4. Koefisien kekasaran Manning dari persamaan 4 di semua pias vertikal setiap penampang kemudian dikonversi menjadi koefisien kekasaran Manning pada penampang. Konversi dilakukan dengan menggunakan persamaan koefisien kekasaran Manning komposit dengan beberapa metode yang meliputi Lotter (Persamaan 5), Einstein & Banks (Persamaan 6), dan Colebatch (Persamaan 7). Hasil koefisien kekasaran Manning dengan persamaan 4 dari beberapa pasangan kecepatan dan beberapa metode komposit dibandingkan dengan koefisien kekasaran Manning dari Persamaan 8 yang ditunjukkan pada Gambar 4.

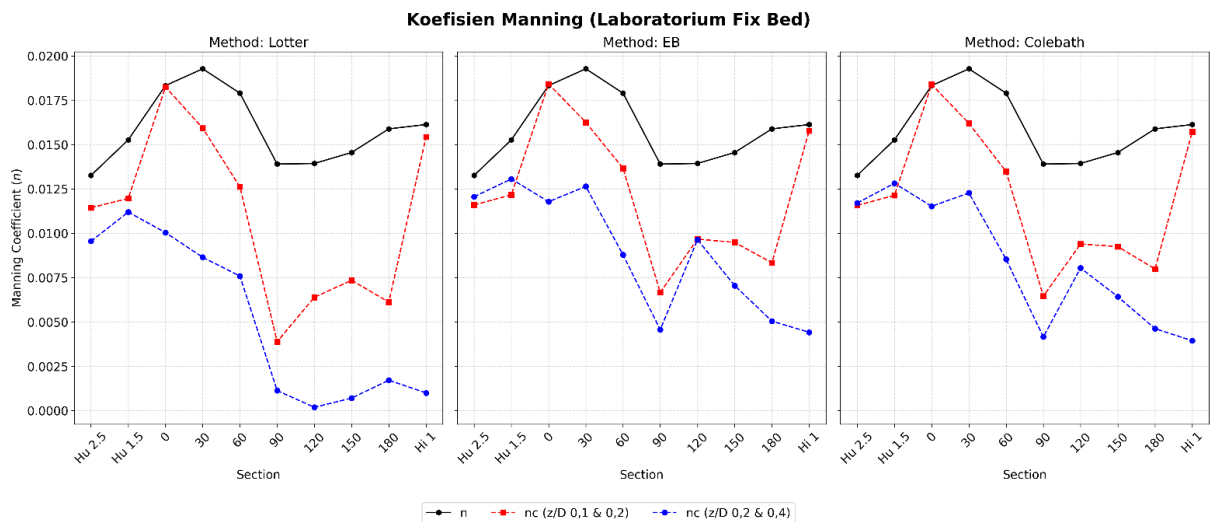


Gambar 4 Grafik perbandingan koefisien kekasaran Manning Persamaan 4 dengan beberapa metode komposit vs koefisien kekasaran Manning Persamaan 8.

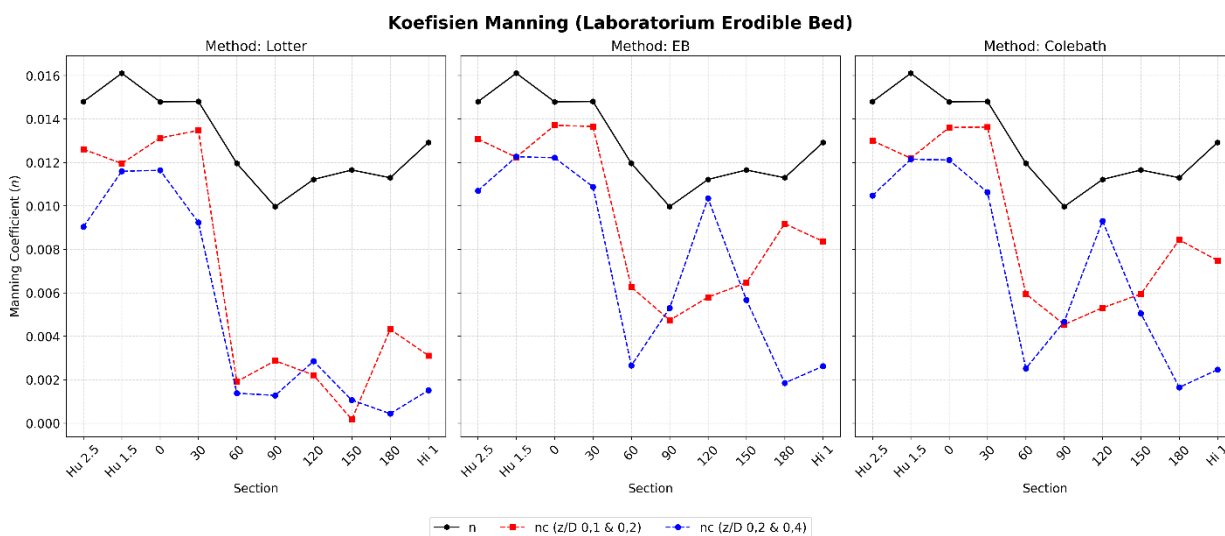
Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat nilai koefisien kekasaran Manning Persamaan 8 ditunjukkan pada sumbu y yang memiliki perbedaan antara saluran laboratorium dan Selokan Mataram. Pada saluran laboratorium nilai koefisien kekasaran Manning dari Persamaan 8 berada pada rentang 0.008 – 0.019, sedangkan pada saluran Selokan Mataram memiliki nilai koefisien kekasaran Manning yang lebih tinggi berada pada rentang 0.014 – 0.026. Pada sisi lain nilai koefisien kekasaran Manning berdasarkan 2 titik kecepatan menggunakan Persamaan 4 dari beberapa pasangan kecepatan dan metode komposit ditunjukkan pada sumbu x. Perbandingan dilakukan dengan mengevaluasi kedekatan koefisien kekasaran Manning komposit terhadap garis *perfect agreement line*. Jika nilai koefisien kekasaran Manning semakin dekat dengan *perfect agreement line* maka nilai koefisien kekasaran Manning komposit juga semakin dekat dengan nilai koefisien kekasaran Manning dari Persamaan 8.

Pada saluran laboratorium nilai koefisien kekasaran Manning dari pasangan kecepatan  $z/D = 0,2$  dan  $0,4$  memiliki nilai yang lebih jauh terhadap *perfect agreement line* dibandingkan pasangan kecepatan  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$ . Kondisi yang sama juga ditunjukkan di saluran Selokan Mataram dengan nilai koefisien kekasaran Manning dari pasangan kecepatan  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$  berada lebih dekat dengan *perfect agreement line* dibandingkan pasangan kecepatan  $z/D = 0,2$  dan  $0,4$ . Jika dilihat perbandingan nilai koefisien kekasaran Manning antara metode komposit menunjukkan metode komposit Einstein & Banks dan Colebatch berada lebih dekat dengan *perfect agreement line*.

Selain itu perbandingan nilai koefisien kekasaran Manning juga perlu dilihat perubahannya pada setiap penampang. Belokan saluran dapat memberikan pengaruh yang berbeda dari saluran lurus. Grafik perubahan nilai koefisien kekasaran Manning pada setiap penampang di saluran laboratorium ditunjukkan pada Gambar 5.



(a)

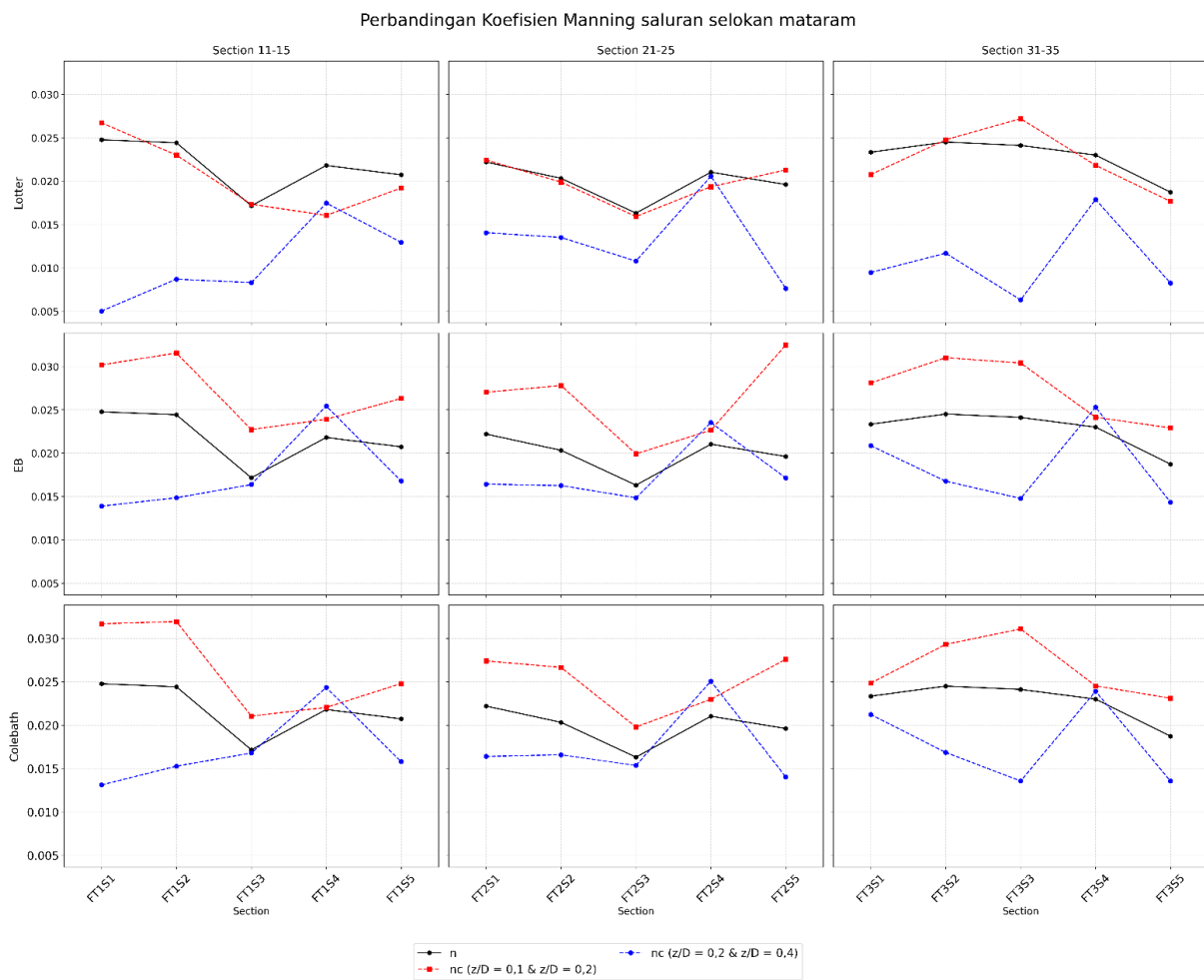


(b)

Gambar 5 Grafik perubahan nilai koefisien kekasaran Manning saluran laboratorium (a) *fixed bed* (b) *erodible bed*.

Berdasarkan Gambar 5 nilai koefisien kekasaran Manning mulai mengalami penurunan setelah melewati penampang pada sudut belokan 30°. Penurunan nilai koefisien kekasaran Manning begitu signifikan seiring meningkatkannya sudut belokan sampai dengan 90°. Peningkatan sudut mengakibatkan aliran akan semakin kuat di sisi luar belokan sehingga nilai koefisien kekasaran Manning akan semakin rendah. Setelah melewati sudut belokan 90° nilai koefisien kekasaran Manning berangsur kembali meningkat sampai kepada penampang setelah belokan saluran berjarak 1 m (penampang Hi 1). Jika dilihat pada nilai koefisien kekasaran Manning dari Persamaan 4 ketika berada pada saluran lurus sebelum belokan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, namun ketika memasuki belokan saluran terjadi perbedaan yang signifikan. Ketika memasuki belokan saluran nilai koefisien kekasaran Manning dari pasangan kecepatan  $z/D = 0,2$  dan  $0,4$  menunjukkan perbedaan paling signifikan.

Di saluran laboratorium *fixed bed* maupun *erodible bed* menunjukkan nilai koefisien kekasaran Manning menggunakan pasangan kecepatan  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$  berada lebih dekat dengan koefisien kekasaran Manning Persamaan 8. Meskipun masih memiliki selisih nilai dari kedua koefisien kekasaran Manning tersebut. Dari ketiga metode komposit, metode Einstein & Banks dan Colebatch memberikan nilai yang hampir sama dibandingkan dengan metode Lotter.



Gambar 6 Grafik perubahan nilai koefisien kekasaran Manning di saluran Selokan Mataram.

Berdasarkan Gambar 6 nilai koefisien kekasaran Manning dari Persamaan 8 menunjukkan pola yang berbeda di ketiga lokasi belokan. Perbedaan pola perubahan nilai koefisien kekasaran Manning tidak hanya dipengaruhi akibat sudut belokan seperti di saluran laboratorium. Perbedaan nilai koefisien kekasaran Manning dapat dipengaruhi akibat geometri penampang (Achour & Amara, 2020; Wellang et al., 2019). Selain itu juga pengaruh dari vegetasi juga dapat memberikan pengaruh pada nilai koefisien kekasaran Manning (Kamali et al., 2018).

Koefisien kekasaran Manning menggunakan pasangan kecepatan  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$  memiliki pola yang sama dan perbedaan nilai yang tidak signifikan terhadap koefisien kekasaran Manning Persamaan 8. Sedangkan pasangan

kecepatan  $z/D = 0,2$  dan  $0,4$  menunjukkan pola yang berbeda dengan perbedaan yang lebih besar dibandingkan dengan pasangan kecepatan  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$ .

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa belokan saluran menyebabkan penyimpangan distribusi logaritmik di *outer region* yang berdampak pada nilai koefisien kekasaran Manning. Pasangan kecepatan  $z/D = 0,2$  dan  $0,4$  berada di *outer region* sehingga mengalami penyimpangan distribusi logaritmik. Hasil koefisien kekasaran Manning juga menunjukkan perbedaan yang jelas di antara kedua pasangan kecepatan.

#### 4 KESIMPULAN

- a. Distribusi kecepatan aliran di belokan saluran menyimpang dari distribusi logaritmik, terutama pada *outer region* ( $z/D \geq 0,2$ ) akibat aliran sekunder, dengan penyimpangan meningkat mulai sudut sekitar  $60^\circ$ , dimana pola ini konsisten pada data laboratorium dan lapangan meskipun pada lapangan dipengaruhi variasi geometri, vegetasi, dan kondisi dasar saluran.
- b. Nilai koefisien kekasaran Manning konvensional menunjukkan variasi pada belokan saluran, dengan data laboratorium berkisar  $0,013 - 0,019$  untuk *fixed bed* dan  $0,01 - 0,016$  untuk *erodible bed*, serta penurunan pada sudut  $30^\circ - 90^\circ$  dan peningkatan setelah  $90^\circ$ , sedangkan pada data lapangan variasi dipengaruhi geometri penampang dan kekasaran dasar.
- c. Analisis koefisien kekasaran Manning menggunakan dua titik kecepatan menunjukkan bahwa pasangan kecepatan pada *inner region* memberikan estimasi yang lebih mendekati nilai konvensional dibandingkan pasangan pada *outer region*, dengan pasangan  $z/D = 0,1$  dan  $0,2$  lebih baik daripada pasangan  $z/D = 0,2$  dan  $0,4$ .
- d. Metode komposit Einstein & Banks dan Colebatch menunjukkan kestabilan lebih tinggi dibandingkan metode Lotter dalam merepresentasikan koefisien kekasaran Manning pada belokan saluran, baik pada data laboratorium maupun lapangan, dengan hasil lebih dekat terhadap garis *perfect agreement*.
- e. Secara umum, penggunaan data kecepatan pada *inner region* mampu mengurangi penyimpangan akibat efek belokan dan memberikan estimasi koefisien kekasaran Manning yang lebih akurat, sehingga metode dua titik kecepatan berbasis *inner region* direkomendasikan untuk penerapan pada kondisi laboratorium dan lapangan.

#### REFERENSI

- Ahamed, N., & Kundu, S. (2022). Application of the fractional entropy for one-dimensional velocity distribution with dip-phenomenon in open-channel turbulent flows. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *36*(5), 1289–1312. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02210-5>
- Aliza Ahmad, N., Ali, Z. M., Mohd Arish, N. A., Mat Daud, A. M., & Amirah Alias, N. F. (2018). Determination of Flow Resistance Coefficient for Vegetation in Open Channel: Laboratory study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *140*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/140/1/012019>
- Ardian, O. H. (2016). *Distribusi Kecepatan Aliran Sedimen Suspensi Pada Belokan Saluran Terbuka Tampang Trapesium (Studi Kasus Saluran Mataram Yogyakarta)* [Universitas Gadjah Mada]. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/103602>
- Blanckaert, K., & de Vriend, H. J. (2004). Secondary flow in sharp open-channel bends. *Journal of Fluid Mechanics*, *498*(January 2004), 353–380. <https://doi.org/10.1017/S0022112003006979>
- Blanckaert, K., & De Vriend, H. J. (2003). Nonlinear modeling of mean flow redistribution in curved open channels. *Water Resources Research*, *39*(12), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2003WR002068>
- Chow, V. Te. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York.
- Colebatch, G. T. (1941). Model tests on the Lawrence Canal roughness coefficients. *J. Inst. Civil Eng. (Australia)*, *13*(2), 27–32.
- Colebrook, C. F., & White, C. M. (1937). The Reduction Of Carrying Capacity Of Pipes With Age. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, *7*(1), 99–118. <https://doi.org/10.1680/ijoti.1937.14682>
- Dahlan, A. N., Kironoto, B. A., & Raharjo, A. P. (2025). Evaluating Flow Resistance in Straight Channels Using 2-Point Velocity Measurements. *Semesta Teknika*, *28*(1), 47–61. <https://doi.org/10.18196/st.v28i1.25841>
- Einstein, H. A., & Banks, R. B. (1950). Fluid resistance of composite roughness. *Eos Trans. AGU*, *31*(4), 603–610. <https://doi.org/10.1029/TR031i004p00603>
- Hu, P., & Yu, M. (2023). Experimental Study of Secondary Flow in Narrow and Sharp Open-Channel Bends. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, *16*(9), 1767–1777. <https://doi.org/10.47176/jafm.16.09.1672>
- Lotter, G. K. (1933). Considerations on hydraulic design of channels with different roughness of walls. *Transactions, All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering*, *9*, 238–241.
- Maini, M. (2016). *Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi Pada Belokan Saluran Terbuka Tampang Trapesium*

- (Studi Kasus Saluran Mataram Yogyakarta) [Universitas Gadjah Mada]. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/103477>
- Maini, M., Kironoto, B. A., Istiarto, & Rahardjo, 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., Kironoto, B. A., Rahardjo, A. P., & Istiarto. (2025). Alternative Method for Determining Manning's Roughness Coefficient Using Two-Point Velocity in Equilibrium and Nonequilibrium Sediment Transport. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 11(7), 2666–2685. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-07-02>
- Majeed, H. Q., & Ghazal, A. M. (2020). CFD simulation of velocity distribution in a river with a bend cross section and a cubic bed roughness shape. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 928(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/2/022038>
- Manning, R. (1891). On the flow of water in open channel and pipes. *Trans. Institution Civil Engineering*, 20, 161–207.
- Niazkar, M., Talebbeydokhti, N., & Afzali, S. H. (2019). Development of a New Flow-dependent Scheme for Calculating Grain and Form Roughness Coefficients. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(5), 2108–2116. <https://doi.org/10.1007/s12205-019-0988-z>
- Rohmanto, H., Sawito, K., Siregar, H., & Tantular Jakarta, M. (2021). Analisis Pola Aliran Saluran Terbuka Dengan Hambatan Persegi Panjang, Bulat, Segitiga, Dan Wing. *Seminar Nasional Ketekniksipilan, Infrastruktur Dan Industri Jasa Konstruksi (KIIJK)*, 1(1), 2021.
- Sumiadi, S. (2014). *Aliran Pada Saluran Menikung Dasar Rata Dan Dasar Tergerus (Flow On Flat And Eroded-Bed Curved Channel)* [Universitas Gadjah Mada]. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/77094>
- Yang, Z. hua, Bai, F. peng, Huai, W. xin, & Li, C. guang. (2019). Lattice Boltzmann method for simulating flows in open-channel with partial emergent rigid vegetation cover. *Journal of Hydrodynamics*, 31(4), 717–724. <https://doi.org/10.1007/s42241-018-0157-8>