

PENGARUH DISPERSI HIDRAULIK ALIRAN PADA BANGUNAN PENGAMBILAN IRIGASI UNTUK EFISIENSI DEBIT

Muhammad Isnaeni^{1*}, Mochammad Dian Alma'Ruf², Abdul Ghoni Majdi²,
Eddy Suwandi² dan Tri Nugroho Waskito²

¹Konsultan Perorangan dengan Kepakaran Hidraulika dan Sedimentasi

¹Kementerian PUPR Ditjen SDA

*m_isnaeni66@live.com

Pemasukan: 5 Desember 2024

Perbaikan: 15 Mei 2025

Diterima: 23 Juni 2025

Intisari

Pemisahan aliran fluida terjadi ketika aliran fluida menemui hambatan atau perubahan arah, menyebabkan partikel fluida melambat atau berubah arah. Perubahan kecepatan ini dapat menyebabkan partikel fluida bergerak menjauh dari lapisan batas (*boundary layer*), yang mengarah dan terbentuknya pusaran. Pemisahan jenis aliran ini dapat terjadi ketika fluida bertemu dengan daerah gradien tekanan yang merugikan, yang dapat menyebabkan fluida melambat dan mengalir ke arah yang berlawanan. Dalam kasus aliran yang membawa sampah serta tumbuhan akuatik yang mempengaruhi parameter aliran sehingga mengakibatkan pengempangan muka air pada bagian udik. Pada penelitian ini, mengambil studi kasus pada salah satu bangunan pengambilan irigasi dengan alinyemen horizontal yang melengkung dengan radian yang tidak sempurna. Anomali trase pada penampang memanjang yang membutuhkan spesifikasi dispersivitas yang menggabungkan efek dispersi geser vertikal dan difusi turbulen horizontal. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dispersi dan difusi turbulensi pada bangunan sadap dengan anomali parameter aliran dan alinyemen horisontal yang melengkung yang membawa sampah pada permukaan aliran. Metode penelitian dimulai: 1) Memetakan trase saluran dan bangunan dengan pemodelan numerik HEC-RAS, 2) Analisis dengan persamaan *Vertically Averaged and Moment (VAM)* untuk menggambarkan sebaran gaya hidrostatis pada penampang melintang untuk mengetahui dispersi vertikal dalam aliran saluran terbuka dan 3) Analisis bilangan *reynolds (Re)* yang mempengaruhi turbulen pada aliran sehingga sampah tidak melintas pada hilir saluran dan berpotensi masuk pada saluran sekunder. Hasil penelitian ini sebagai rekomendasi pada kasus yang serupa untuk bangunan pengambilan irigasi khususnya pada Saluran Induk Tarum Utara sehingga debit aliran lebih efisien dan tidak menciptakan turbulensi aliran yang merugikan operasi pengaliran debit.

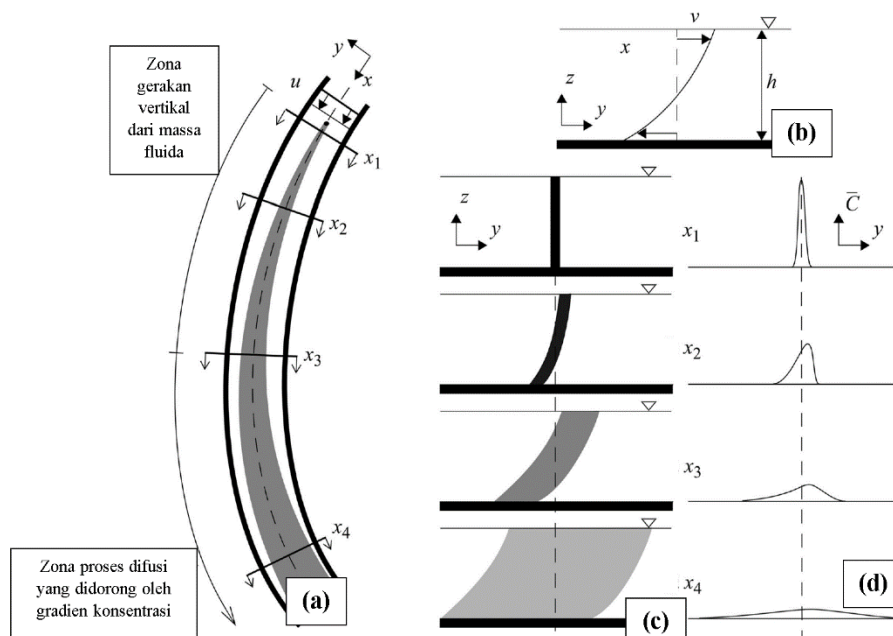
Kata Kunci: Efisiensi debit, dispersi, fluida, *reynolds*, *VAM*

Latar Belakang

Dispersi hidrodinamik adalah ukuran untuk menggambarkan proses pencampuran zat terlarut dalam media berpori/akuifer. Koefisien dispersi tergantung pada laju

aliran dan faktor dispersivitas, yang dapat ditentukan oleh struktur dan tekstur medium. Dispersivitas, sebagai fitur penting dari dispersi hidrodinamik, keberadaan lapisan kerikil secara signifikan mengurangi kecepatan aliran dan dispersi hidrodinamik pada koefisien aliran, tetapi meningkatkan keterlarutan dispersi. Untuk aliran di dalam lapisan kerikil, dengan kecepatan yang jauh lebih rendah, efek positif dari lapisan kerikil pada dispersivitas dapat dinetralkan atau bahkan dilampaui oleh efek negatif dari kecepatan aliran (Shi dkk., 2016). Secara teoritis, ada fungsi dispersi molekuler dan mekanis proses transfer zat terlarut, tetapi sulit untuk membedakannya, sehingga koefisien dispersi hidrodinamik adalah jumlah dari koefisien difusi molekuler dan koefisien dispersi mekanis (Lee dan Park, 2024). Difusivitas molekuler berkorelasi dengan koefisien difusi zat terlarut dalam air dan faktor tortuositas medium. Komponen ini dapat diabaikan dalam dua kondisi, salah satunya adalah ketika laju aliran cukup tinggi dan efek dispersi mekanis sangat melebihi difusi molekuler (Devkota dan Imberger, 2009). Ketika difusivitas molekuler cukup kecil untuk diabaikan untuk banyak media non-agregat dengan porositas artikel dalam perangkat yang sangat kecil seperti aliran pasir/ kerikil atau bahan akuifer. Dalam kondisi ini, hanya dispersi mekanis yang perlu dipertimbangkan dalam dispersi hidrodinamik sebagai fungsi dispersivitas mekanis dan kecepatan aliran rata-rata sebuah aliran (Chen dkk., 1999).

Sebagian besar aliran pada saluran terbuka sering diselesaikan dengan pemodelan numerik 3D. Namun, fitur ini menjadi kepentingan sekunder, terutama ketika rasio antara lebar (b) dan kedalaman aliran (h) lebih dari 2 dan variasi vertikal dari jumlah aliran rata-rata tidak signifikan. Semakin besar rasio b/h ini menyebabkan tegangan geser pada dasar saluran semakin kecil, terutama pada dasar saluran terdapat sedimentasi yang sudah terjadi dalam waktu yang cukup lama (Abdulrahman, 2007).



(Sumber: Devkota, B. H., dan Imberger, J, 2009)

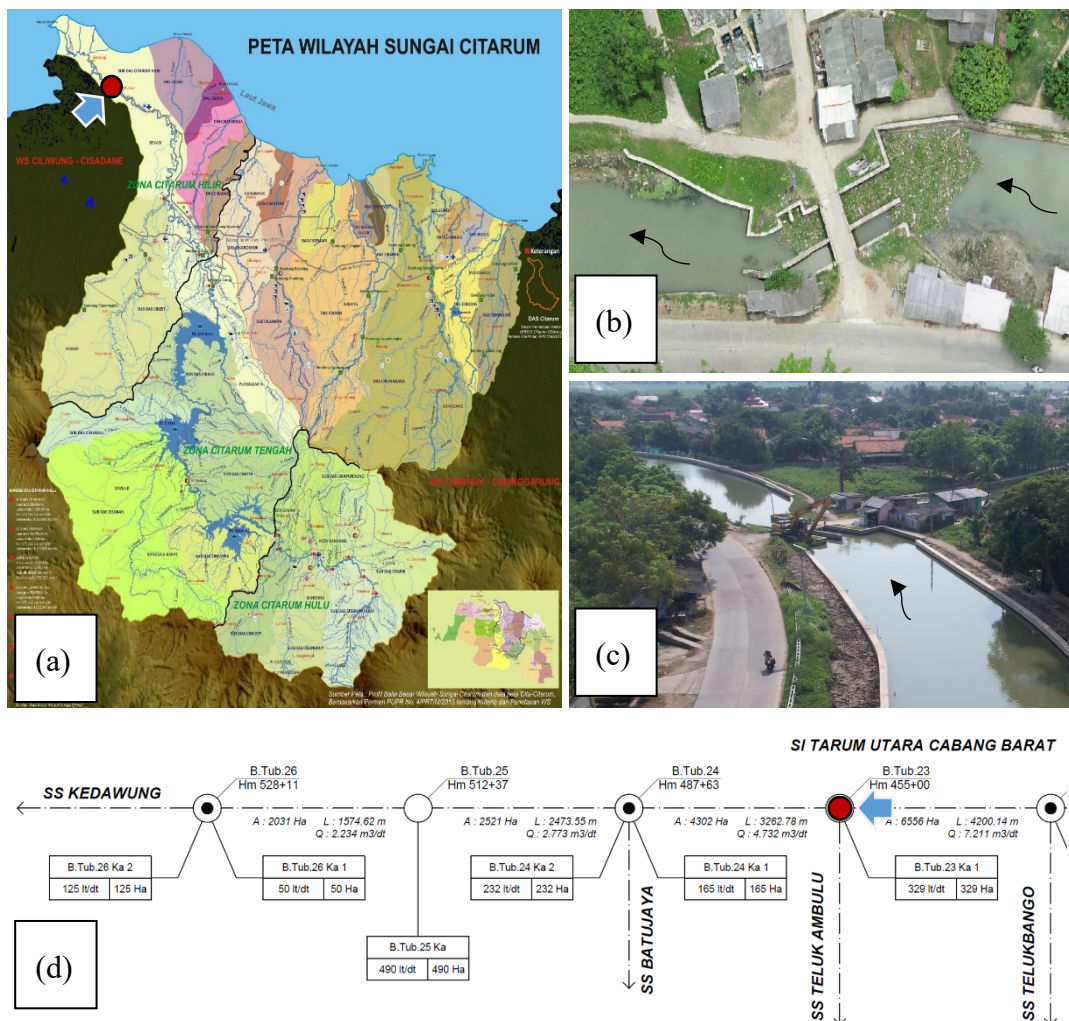
Gambar 1. Proses dispersi yang diakibatkan tegangan geser transversal pada suatu penampang saluran

Konsep permasalahan pada penelitian ini diteliti pada sebuah aliran dengan penampang yang menyempit, kemudian melebar atau di sebut *divergent*, disebut juga transversal. Ilustrasi saluran transversal yang dilalui oleh fluida pada penampang melintang pada saluran terbuka disajikan pada Gambar 1(a), di mana x , y , dan z , masing-masing, adalah koordinat longitudinal, melintang, dan vertikal; h kedalaman aliran, \bar{C} konsentrasi rata-rata kedalaman, dan u dan v , masing-masing, adalah kecepatan horizontal rata-rata longitudinal dan transversal bilangan *Reynolds*. Pada Gambar 1(a) menunjukkan transversal melintang dari tumpukan massa fluida yang dihasilkan dari pelepasan energi massa yang seragam secara vertikal di tengah saluran ke hulu dari x_1 . Pada Gambar 1(b), menunjukkan distribusi kecepatan melintang x_1 yang ditemukan di saluran yang melengkung persegi panjang yang ideal. Pada Gambar 1(c) menunjukkan bentuk penampang berubah bentuk oleh distribusi kecepatan transversal oleh difusi turbulen vertikal. Kemudian pada Gambar 1(d) menunjukkan distribusi konsentrasi rata-rata kedalaman setara yang akan diamati di saluran di mana nilai puncak dalam distribusi aliran pada kemiringan awal dari titik pusat menuju tepi luar. Distribusi miring ini pada jarak yang jauh dari sumber akhirnya meluruh sehingga konsentrasi rata-rata kedalaman mendekati distribusi *Gaussian*.

Mekanisme peluruhan adalah interaksi difusi turbulen dan dispersi geser karena gradien kecepatan rata-rata. Dispersi geser cenderung meregangkan aliran, meningkatkan gradien konsentrasi lokal, memungkinkan difusi turbulen untuk peluruhan fluida yang mengandung konsentrasi sedimen. Pada pemodelan numerik, kedalaman rata – rata aliran sering dipergunakan untuk asumsi kedalaman sebuah penampang, terkadang dapat me-representasikan profil aliran dan mengetahui karakteristik aliran (Urbanski dan Nogueira, 2024). Proses ini bertujuan untuk menyederhanakan model aliran dengan mengabaikan detail aliran dalam dimensi vertikal. Pendekatan ini secara signifikan dapat mengurangi beban komputasi dalam analisis *Computational Fluid Dynamics* (Ramirez dkk., 2020).

Contoh kasus hal di atas pada sebuah aliran fluida, terjadi pada sebuah saluran dengan sedimentasi pada dasar saluran dan sampah domestik dan tumbuhan *aquatic* yang terangkut aliran pada permukaan akan menambah perimeter basah dari luas penampang aliran di saluran dan menyebabkan struktur aliran menjadi rumit. Hal ini juga menyebabkan pergeseran kecepatan dan menghasilkan lebih banyak deformasi pada dasar sungai.

Sebagai studi kasus, diambil salah satu bangunan sadap dengan nomenklatur B.TUB.23 pada Saluran Induk Tarum Utara Barat, Kab, Karawang – Jawa Barat, pada DI. Jatiluhur 237.790 Ha, lokasi studi ditunjukkan pada Gambar 2(a). Skema bangunan menunjukkan pada hilir bangunan yang melayani sawah beririgasi seluas 4.402 Ha, ditunjukkan pada Gambar 2(d). Gambar 2(c) menunjukkan Bangunan pengambilan yang dibangun pada tahun 1967 silam dengan bentuk anomali geometrik terhadap trase/alinyemen yang melengkung dengan radian lengkung yang tidak sempurna dan Gambar 2(b) menunjukkan tumpukan sedimen pada sisi bawah pilar dengan kuantitas gulma yang menghambat aliran sehingga memberikan pengaruh pada debit pengaliran sehingga kecepatan aliran yang masuk mengalami kenaikan yang mendadak karena adanya penyempitan penampang aliran.



(Sumber: VK & Associates Consulting Service for SIMURP B, 2024)

Gambar 2. Lokasi penelitian DAS Citarum (a), *bird view* anomali posisi bangunan terhadap lengkung saluran induk (b), *bird view* arah hulu ke hilir posisi bangunan terhadap saluran induk (c) dan posisi bangunan terhadap skema jaringan (d).

Metodologi Studi

Pendekatan yang digunakan dalam makalah ini mengasumsikan aliran dangkal dan mengabaikan tekanan turbulen internal. Distribusi tekanan diperoleh dari persamaan momentum, yang merupakan kombinasi antara tekanan hidrostatik dan efek gaya sentrifugal akibat kelengkungan dasar saluran. Untuk memverifikasi dan menggambarkan penerapan model, dianalisis profil permukaan air yang mengalir di atas permukaan melengkung dan menuju ke pintu pengambilan dengan pusaran inti udara. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan data pengamatan serta persamaan empiris (Hundecha dan Bárdossy, 2004).

Relasi dispersi adalah relasi yang berhubungan antara kedalaman fluida, frekuensi dan bilangan gelombang akibat aliran pada kasus ini akibat turbulensi pada aliran. Pada penelitian ini, viskositas fluida tidak diperhitungkan karena suhu fluida

diasumsikan sama dari aliran mulai dari hulu ke hilir. Salah satu metode yang digunakan adalah komputasi numerik dengan HEC-RAS, numerik merupakan metode yang bisa digunakan untuk memecahkan masalah yang rumit dari model matematika. Skema numerik diperlukan untuk menghitung nilai untuk istilah yang berbeda seperti turunan, misalnya gradien dan interpolasi nilai dari pusat sel ke titik simpul. Berbagai skema numerik tersedia yang memberikan fleksibilitas dan keleluasaan. Secara umum, *skema numerik* dapat dipikirkan deskripsi algoritma yang akan menghasilkan solusi matematika (Mohammad dkk., 2020).

Penelitian ini dimulai dengan: 1) Pemodelan numerik bangunan yang membawa aliran penuh untuk mengairi sawah beririgasi seluas 4.402 Ha dengan debit 7,12 m³/dt. Dengan bantuan HEC-RAS dua dimensi, untuk mengetahui profil aliran yang masuk pada bangunan ini, kemudian parameter bilangan tak berdimensi seperti *Froude* dan *Reynolds*. Parameter hidraulik seperti kedalaman rata – rata difusi turbulen ϵ_y dan tegangan geser u_* juga dapat diperoleh dari tahapan ini melalui properti aliran. Selanjutnya, 2) Analisis dua dimensi Persamaan *Vertically Averaged and Moment* (VAM) untuk menggambarkan sebaran gaya hidrostatis pada penampang melintang untuk mengetahui dispersi vertikal dalam aliran saluran terbuka dan 3) Analisis parameter hidraulik yang mempengaruhi turbulen pada aliran sehingga sampah tidak melintas pada hilir saluran dan berpotensi masuk pada saluran sekunder. Kemudian, 4) Komparasi hasil pemodelan dan analisis persamaan matematik, dengan rekomendasi bentuk geometrik bangunan untuk efisiensi debit aliran.

Hasil Studi dan Pembahasan

Analisis Dispersitas pada Fluida

Untuk peleburan massa fluida, dispersi, dan difusi secara alami digabungkan menjadi parameter dispersivitas tunggal seperti diuraikan pada Gambar 1 yang disebabkan dominan oleh gaya geser transversal pada aliran. *Rutherford* (1994), menguraikan persamaan kesetimbangan dispersi dengan persamaan berikut:

$$\frac{D_y}{hu_*} = \frac{k_y}{hu_*} + \frac{\epsilon_y}{hu_*} \tag{1}$$

dengan keterangan:

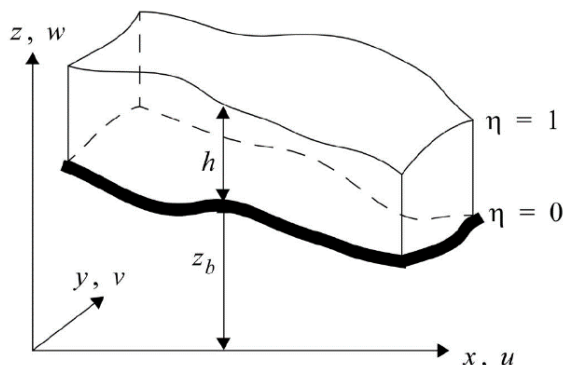
- D_y : gabungan dispersivitas pada penampang melintang
- k_y : bagian dari D_y yang timbul dari dispersi geser vertikal
- ϵ_y : kedalaman rata-rata difusivitas turbulen transversal
- hu_* : kecepatan geser.

$$\frac{k_y}{hu_*} = \frac{I}{\kappa^5} \left(C_* \frac{h}{R} \right)^2 \tag{2}$$

dengan keterangan:

- R : jari-jari kelengkungan untuk aliran
- κ^5 : konstanta *von Kármán*
- I : koefisien yang memiliki kisaran perkiraan antara 0,25 hingga 0,32.
- C : Koefesien *Chézy*

Kelengkungan aliran, secara grafis dievaluasi oleh *Fischer dan Rutherford (1994)* pada Gambar 3 di bawah ini:



(Sumber: *Fischer dan Rutherford, 1994*)

Gambar 3. Definisi kelengkungan aliran

$$C_* = \frac{u_0}{u_*} = \frac{C_c}{\sqrt{g}} = \sqrt{\frac{8}{f_D}} \tag{3}$$

dengan keterangan:

- C* : koefisien *Chézy* tanpa dimensi
- U₀ : kecepatan awal aliran
- U* : kecepatan aliran yang melintasi bangunan
- g : gravitasi
- f_D : Fungsi kekasaran permukaan.

Dalam pemodelan hidrodinamik, pembatasan konseptual serupa yang timbul dari proses rata-rata kedalaman membatasi penerapan model satu dimensi. Hal ini meninggalkan masalah besar dan kompleks tertentu terjebak antara aplikasi terbatas model satu dimensi dan aplikasi praktis model tiga dimensi karena persyaratan komputasi yang besar (*Wang dan Yuan, 2020*).

Analisis Numerik dengan CFD

Kecepatan aliran pada saluran untuk irigasi diperkenankan berkisar 0,8 – 1,1 m/dt untuk saluran induk dan 0,9 – 1.2 m/dt pada saluran sekunder. Kecepatan ini untuk menjaga gradien aliran terhadap luas penampang dapat optimum (*Kementerian PUPR Dit. SDA KP-02, 2015*). Untuk rasio antara lebar (b) dan kedalaman aliran (h) lebih dari 2 dan variasi vertikal dari jumlah aliran rata-rata tidak signifikan. Semakin besar rasio b/h ini menyebabkan tegangan geser pada dasar saluran semakin kecil, terutama pada dasar saluran terdapat sedimentasi yang sudah terjadi dalam waktu yang cukup lama (*Abdulrahman, 2007*). Lebar Saluran (b) 12 m dan kedalaman aliran (h) 1.9 m, dengan rasio b/h = 6,3. Hasil pengamatan kecepatan aliran dari *data logger* dari pengamatan kecepatan aliran di lapangan dengan *Propeller H33 Current Meter* digunakan pada penelitian ini untuk mendukung pengamatan aliran pada prototip diperoleh kecepatan aliran pada titik-titik pada Gambar 3 di atas dan kecepatan aliran yang diperoleh dari simulasi HEC-RAS,

digunakan untuk menganalisis kurva rasio pada penampang memanjang $k_y/u \cdot h$, untuk komparasi variasi dispersivitas transversal non-dimensional yang diberikan oleh simulasi dua dimensi dan analisis digunakan persamaan (7) ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 1. Ringkasan parameter aliran pada kondisi pengaliran *Existing* dan Simulasi Numerik

Titik pengamatan	Hasil Simulasi HEC-RAS			Pengamatan Lapangan		
	Kecepatan aliran (m/dt)	$\frac{k_y}{u_* h}$	Reynolds	Kecepatan aliran (m/dt)	$\frac{k_y}{u_* h}$	Reynolds
(a)	2,3	0,712	3.453	2,2	0,698	3.453
(b)	2,8	0,722	3.981	2,6	0,701	3.981
(c)	3,1	0,741	4.532	2,9	0,731	4.532
(d)	2,9	0,723	4.321	2,9	0,719	4.321
(e)	3,2	0,721	5.221	3,1	0,711	5.221
(f)	1,7	0,728	2.568	1,5	0,707	2.568
(i)	1,5	0,729	2.102	1,4	0,711	2.102



Gambar 4. Tata letak bangunan sadap B.TUB.23



Gambar 5. Hasil simulasi numerik dan pola aliran

Pada Gambar 4 menunjukkan skema simulasi numerik, dengan parameter hidraulik: Debit 7,12 M³/dt, simulasi pintu *offtake* pada Saluran Sekunder Teluk Ambulu dengan debit 1,12 M³/dt, dengan sisa debit di hilir bangunan setelah pengambilan 5,8 M³/dt.

Bentuk Momen pada Penampang Dua Dimensi Persamaan Adveksi – Difusi

Persamaan difusi merupakan representasi dari fenomena proses peluruhan partikel dari zat yang berkonsentrasi tinggi ke zat yang berkonsentrasi rendah. Referensi tentang koefisien difusi sedimen diperlukan saat komputasi untuk distribusi konsentrasi yang ditangguhkan dalam pusaran. Tinjauan literatur menunjukkan bahwa koefisien difusi sedimen dianggap sama dengan koefisien transfer momentum (Emad dan McCorquodale 1983, Admas, dkk 1990, Atkinson 1992, Demuren 1988, Nadim dkk. 1992, dan Wang 2020). Koefisien difusi turbulen yang dianggap oleh banyak peneliti (Emad dan McCorquodale 1983, Admas 1990, Atkinson 1992, Demuren 1988, Nadim, dkk. 1992, Siping dan McCorquodale 1992, dan Wang 2020) menjadi proporsional dengan U^* , h , di sini U^* adalah kecepatan geser aliran dan h adalah kedalaman aliran. Variasi ε selama kedalaman aliran diperhitungkan dengan mempertimbangkan untuk proporsional dengan $U^* \kappa z (1 - (z/b)) \kappa^5$ adalah konstanta *Karman* (Basse, 2023).

Metode VAM untuk menggambarkan sebaran gaya hidrostatis pada penampang melintang untuk mengetahui dispersi vertikal dalam aliran saluran. Untuk membangun ekspresi analitis yang menggambarkan perkembangan longitudinal dispersivitas transversal yang dihasilkan dari geser kecepatan vertikal. Hasilnya akan dibandingkan dengan nilai-nilai yang analisis dalam literatur dan perkiraan dispersivitas yang dihasilkan dari simulasi HEC-RAS 2 dimensi.

Melengkapi Persamaan (1), (2) dan (3) (*Rutherford*, 1994) dan dengan mengacu pada definisi pada Gambar 6, persamaan adveksi-difusi tiga dimensi untuk menelusuri secara konservatif bilangan rata – rata *Reynolds* pada aliran turbulen, disajikan pada Persamaan (4) berikut:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} + \frac{\partial(vC)}{\partial y} + \frac{\partial(ReC)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (4)$$

dengan keterangan:

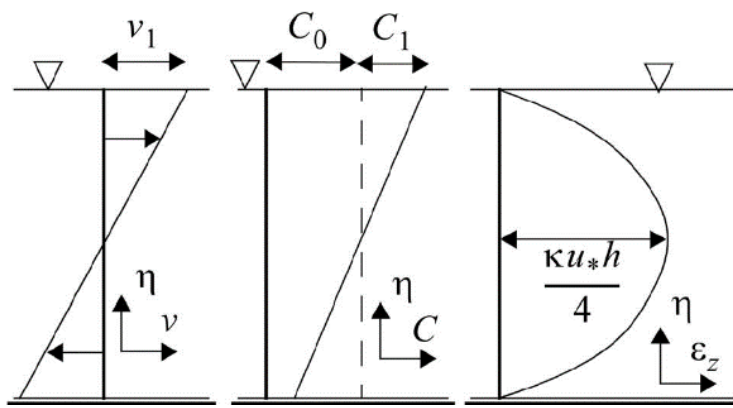
t : waktu

Re : *Reynolds* rata-rata kecepatan dalam arah vertikal

C : rata-rata konsentrasi pada setiap titik

ε : Difusivitas turbulen

nilai ε_x , ε_y , dan ε_z : untuk difusivitas turbulen dalam tiga arah vektor koordinat, diuraikan pada Gambar 6 berikut ini:



(Sumber: Fischer dan Rutherford, 1994)

Gambar 6. Ilustrasi grafis arah v , C , η , ϵ pada penampang aliran

Harga peningkatan momen η dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{z - z_b}{h} \tag{5}$$

dengan keterangan:

η : variabel non-dimensional untuk posisi vertikal

z : elevasi permukaan aliran

z_b : elevasi pada dasar saluran

h : tinggi peleburan.

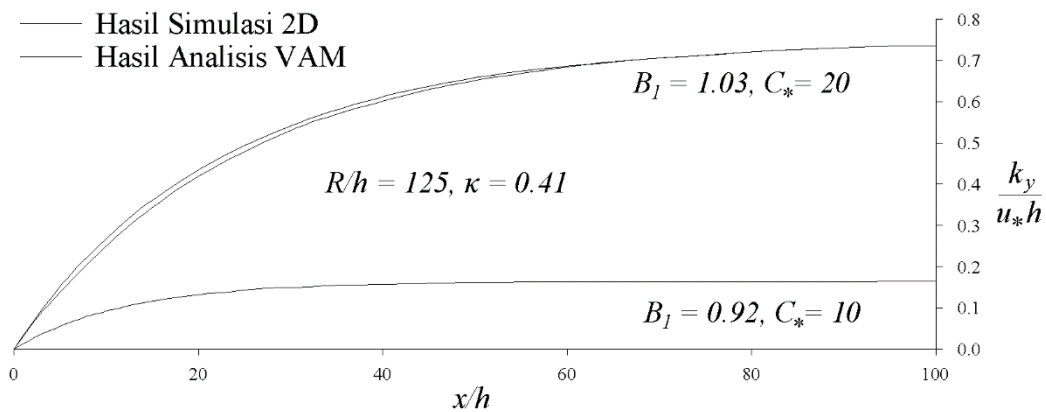
Dengan peleburan arus pada penampang melintang yang diamati dalam kerangka referensi yang bergerak pada kecepatan arus rata-rata untuk bagian tengah saluran prisma lebar dengan kelengkungan konstan, maka dapat mengabaikan suku kedua dan keempat di sisi kiri dan suku pertama di sisi kanan menjadi persamaan (6) berikut:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(vC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \tag{6}$$

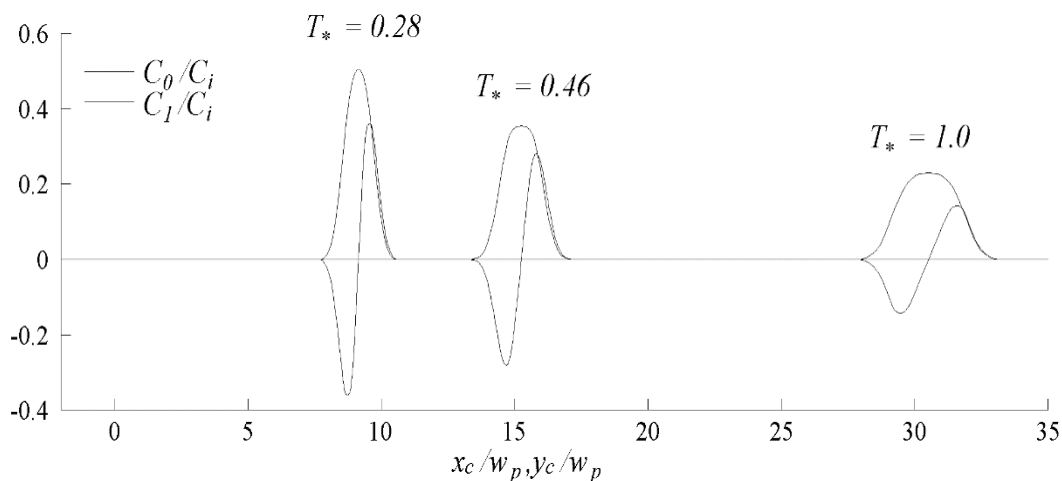
Persamaan (6) adalah persamaan dua dimensi yang, melalui kedalaman rata – rata, dapat lebih sederhana dinyatakan sebagai persamaan satu dimensi. Dari persamaan (1) sampai dengan (6) tersebut diperoleh nilainya, untuk menganalisis kurva rasio pada penampang memanjang k_y/u_*h , untuk komparasi variasi dispersivitas transversal non-dimensional yang diberikan oleh simulasi dua dimensi dan analitis digunakan persamaan berikut:

$$\frac{K_y}{u_*h} = \frac{0.28}{K^5} \left(C_* \frac{h}{R} \right)^2 \tag{7}$$

Koefisien 0,28 diambil dari rata – rata pada Persamaan (2) yang memiliki kisaran perkiraan antara 0,25 hingga 0,32.



Gambar 7. Kurva perbandingan variasi longitudinal dalam dispersivitas transversal non-dimensi yang diberikan oleh simulasi dua dimensi dan analitik



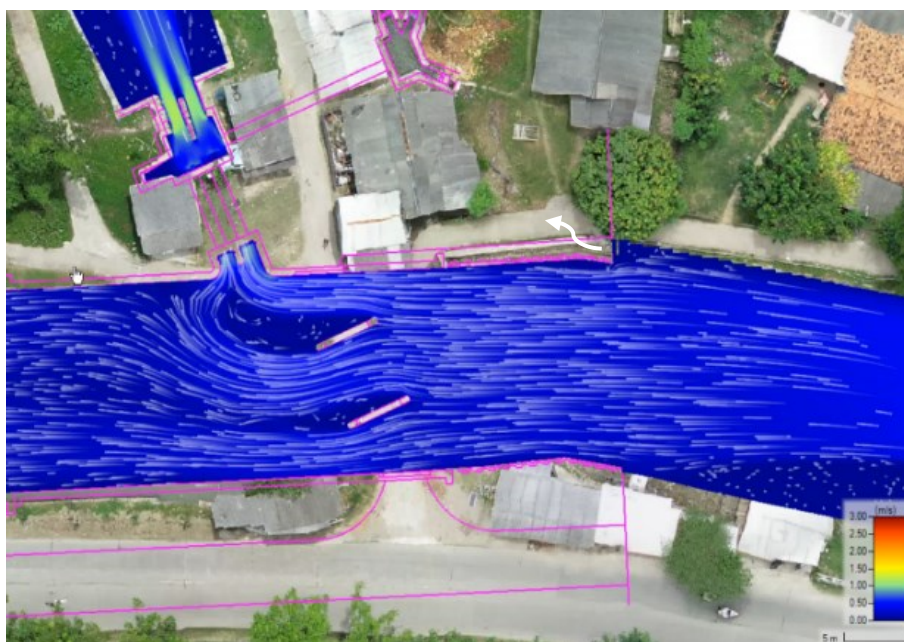
Gambar 8. Distribusi spasial parameter konsentrasi C_0 dan C_1 yang dinormalisasi, masing-masing dinormalisasi oleh C_i , untuk pencampuran dispersi transversal dengan $\alpha t = 0,75$ dihitung melalui simulasi VAM

Pada analisis di dasar saluran untuk studi kasus ini, dengan saluran dengan dasar berpasir, hasil penelitian menunjukkan korelasi positif antara nilai dispersivitas transversal dan kelengkungan saluran yang berliku-liku, namun nilai maksimum dispersivitas transversal yang dihitung melalui metode VAM dalam kisaran 0,008-0,009 m^2/dt hanya di bawah tiga kali nilai yang dihitung melalui analisis simulasi numerik 0,0033–0,0034 m^2/dt . Perbedaan mendasar dari metode numerik dan analisis, adanya perbedaan dalam memperoleh perkiraan dispersivitas transversal yang valid di saluran terbuka bahkan ketika menggunakan kumpulan data mentah terperinci yang diperoleh dalam pengaturan uji laboratorium yang. Hasil dari simulasi dua dimensi diplot pada Gambar 8 untuk $K = 0,41$, $R/h = 125$, $C^* = 10$ dengan $B_1 = 0,95$ dan $C^* = 20$ dengan $B_1 = 1,08$. Keserupaan antara simulasi dua dimensi dan VAM sangat mendekati pada semua rasio x_c/h dan dua hasil plot tanpa perbedaan visual ketika $C^* = 10$. Koefisien koreksi B_1 dipilih untuk memastikan bahwa nilai dispersivitas asimtotik analitis akan sesuai dengan nilai asimtotik yang dihasilkan

dari analisis hasil simulasi dua dimensi, angka kisi horizontal tidak melebihi nilai 0,25. Pada Gambar 8 menyajikan distribusi C_0 dan C_1 yang dinormalisasi oleh C_i pada skala absis. Perhatikan bahwa distribusi C_1 tampaknya sepenuhnya dikembangkan oleh $T^*=0,3$. Ini mendukung asumsi bahwa C_1 merespon dengan cepat terhadap gradien longitudinal C_0 yang diperlukan dari persamaan (7). Bentuk geometrik direkomendasikan dapat diubah/modifikasi seperti usulan berikut:



Gambar 9. Usulan pelurusan trase/alinyemen horizontal Bangunan Sadap B.TUB.23



Gambar 10. Fenomena hidraulik hasil simulasi setelah pelurusan trase/alinyemen Bangunan Sadap B.TUB.23

Dengan demikian, debit yang mengalir dapat diamati dengan hasil analisis numerik dengan membandingkan simulasi bentuk geometrik awal pada Gambar 9 terhadap usulan pada Gambar 10. Debit aliran dihilir dilepas sama dengan kapasitas $7,12 \text{ M}^3/\text{dt}$, setelah disimulasikan disadap pada Bangunan Sadap sisi kanan (Saluran Sekunder Teluk Ambulu) sebesar $1,12 \text{ M}^3/\text{dt}$, maka sisa debit yang mengalir di hilir bangunan setelah pengambilan $5,8 \text{ M}^3/\text{dt}$. Kehilangan debit $0,2 \text{ M}^3/\text{dt}$ ini memungkinkan terjadi karena arus aliran yang tidak lancar karena pelepasan energi yang tidak merata dan pusaran di sekitar pilar. Analisis pada Gambar 10 setelah pelurusan alignment, angka debit di hilir diperoleh sama setelah pengurangan debit pada bangunan pengambilan, yaitu $6 \text{ M}^3/\text{dt}$, namun efisiensi dapat diperoleh pada bangunan pengambilan Saluran Sekunder Teluk Ambulu lebih lancar sehingga debit yang masuk dapat maksimal dari sebelumnya $1,12 \text{ M}^3/\text{dt}$ menjadi $1,14 \text{ M}^3/\text{dt}$.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Fenomena aliran yang masuk pada penampang saluran yang ditunjukkan pada Gambar 5 titik (e), jika bangunan tersebut tidak dimodifikasi akan mengakibatkan peleburan massa fluida, dispersi, dan difusi secara alami digabungkan menjadi parameter dispersivitas tunggal yang akan mengakibatkan aliran akan berpusar dan menahan angkutan sampah dikarenakan pusaran pada permukaan aliran. Sebagai usulan dari analisis di atas, direkomendasikan untuk diadakan pelurusan geometrik bangunan ini agar kurva rasio pada penampang memanjang $k_y/u \cdot h$, untuk memperkecil dispersivitas transversal. Panjang zona peleburan adveksi (zona gerakan vertikal massa fluida) di mana dispersivitas longitudinal bervariasi secara signifikan, untuk saluran ini, berkisar antara 5 dan 9 kali kedalaman aliran. Perkiraan untuk panjang zona adveksi ini dengan menggunakan kriteria mencapai keseimbangan peleburan asimtotik 35% antara difusi turbulen vertikal dan kecepatan geser vertikal daripada menggunakan kriteria peleburan vertikal. Analisis pada persamaan (1) – (7) membuktikan adanya kenaikan peleburan massa fluida, dengan profil aliran yang mengalami dispersi geser yang cenderung meregangkan aliran dan meningkatkan gradien konsentrasi lokal. Kecepatan aliran setelah simulasi pada Gambar 10 juga menjadi merata dengan kecepatan aliran yang dianjurkan untuk saluran induk berkisar $0,8 - 1,1 \text{ m}/\text{dt}$ untuk saluran induk dan $0,9 - 1,2 \text{ m}/\text{dt}$ pada saluran sekunder. Kecepatan ini untuk menjaga gradien aliran terhadap luas penampang agar dapat optimum berdasarkan standarisasi Kriteria Perencanaan Irigasi pada Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian PU.

Saran

Energi kinetik turbulen bervariasi tergantung dari dasar saluran. Sedimen yang masuk menyebabkan penurunan penampang aliran (tinggi bersih muka air) seiring dengan meningkatnya kepadatan vegetasi. Fenomena dispersi ini, dapat diamati dengan jelas dengan model uji fisik tiga dimensi di laboratorium, tentu dengan skala keserupaan geometrik yang hampir mendekati dimensi prototip (menyesuaikan) untuk lebih dapat mengamati seberapa jauh memberikan pengaruh dari anomali aliran yang merugikan konstruksi pada sebuah bangunan irigasi khususnya. Debit

yang seharusnya mengalir sesuai dengan keperluan akan menjadi ancaman daya rusak sebuah konstruksi. Dari salah satu permasalahan terkecil dari mekanika fluida dengan membahas dispersitas, pusaran (*vortex*) dan difusi sedimen, akan menambah nilai efisiensi debit aliran untuk irigasi modern saat ini, terukur dan terkelola dengan biaya operasional yang baik di masa mendatang. Efisiensi debit ini menjadi nilai sebuah penelitian fenomena hidraulik dari sebuah anomali konstruksi secara bentuk geometrik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada segenap tim pelaksanaan kegiatan *SIMURP – B Loan SIMURP - 8891-ID & AIB L0060A* pada Kementerian PUPR, Ditjen SDA, BBWS Citarum pada Tahun Jamak Anggaran 2022-2024. Pada pekerjaan Rehabilitasi *North – West Tarum Main Canal – Karawang District*, yang telah memberikan kesempatan memberikan *input assignment* mulai Februari 2022 – Desember 2023 pada *Offtake Structure B.TUB.23* sebagai studi kasus pada penelitian ini.

Daftar Referensi

- Abdulrahman, A. (2007): Best Hydraulic Section of a Composite Channel, *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6), 695–697. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2007\)133:6\(695\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:6(695))
- Basse, N. T. (2023): An Algebraic Non-Equilibrium Turbulence Model of the High Reynolds Number Transition Region, *Water*, 15(18), 3234. <https://doi.org/10.3390/w15183234>
- Chen, Q., Madsen, P. A., dan Basco, D. R. (1999): Current Effects on Nonlinear Interactions of Shallow-Water Waves, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 125(4), 176–186. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1999\)125:4\(176\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1999)125:4(176))
- Devkota, B. H., dan Imberger, J. (2009): Lagrangian Modeling of Weakly Nonlinear Nonhydrostatic Shallow Water Waves in Open Channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(11), 926–934. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2009\)135:11\(926\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2009)135:11(926))
- Hundecha, Y., dan Bárdossy, A. (2004): Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model, *Journal of Hydrology*, 292(1–4), 281–295. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.002>
- Kementerian PUPR Dit. SDA KP-02, D. (2015): *Design Criteria* (Kriteria Perencanaan), diperoleh melalui situs internet: <https://sda.pu.go.id>, Kriteria Perencanaan KP-02 Bangunan Utama.
- Lee, S., dan Park, I. (2024): Application of Oversampling Techniques for Enhanced Transverse Dispersion Coefficient Estimation Performance Using Machine Learning Regression, *Water*, 16(10), 1359. <https://doi.org/10.3390/w16101359>

- Mohammad, M. E., Al-Ansari, N., Knutsson, S., dan Laue, J. (2020): A Computational Fluid Dynamics Simulation Model of Sediment Deposition in a Storage Reservoir Subject to Water Withdrawal, *Water*, 12(4), 959. <https://doi.org/10.3390/w12040959>
- Ramirez, R., Avila, E., Lopez, L., Bula, A., dan Duarte Forero, J. (2020): CFD characterization and optimization of the cavitation phenomenon in dredging centrifugal pumps, *Alexandria Engineering Journal*, 59(1), 291–309. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.12.041>
- Shi, X., Lei, T., Yan, Y., dan Zhang, F. (2016): Determination and impact factor analysis of hydrodynamic dispersion coefficient within a gravel layer using an electrolyte tracer method, *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2), 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.05.001>
- Urbanski, B., dan Nogueira, M. (2024): Excessive Eutrophication as a Chemical Barrier for Fish Fauna Dispersion: A Case Study in the Emblematic Tietê River (São Paulo, Brazil), *Water*, 16(10), 1383. <https://doi.org/10.3390/w16101383>
- Wang, D., dan Yuan, J. (2020): Modeling of net sediment transport rate due to wave-driven oscillatory flow over vortex ripples, *Applied Ocean Research*, 94, 101979. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2019.101979>