

PERENCANAAN ULANG SALURAN TERBUKA DI SEBABKAN OLEH PENYEMPITAN BERSUDUT PADA SALURAN YANG MENGAKIBATKAN KEHILANGAN ENERGI

Ichlashul Amal

Dosen Pembimbing :

Dr. Nanang Saiful Rizal, S.T., M.T. ; Dr. Ir. Noor Salim, M.Eng.

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah

Jl. Karimata 40, Jember 68121, Jawa Timur, Indonesia

E-mail : ichlaszule@gmail.com

Abstrak

Belakangan ini banyak sekali faktor yang dapat menimbulkan ketidakstabilan aliran air pada saluran terbuka salah satunya dari penyempitan dengan beberapa kontur tanah, sampah pada saluran, sehingga pergerakan air mengalami perubahan pada debit, kecepatan aliran, tinggi muka air. Kenyataan ini perlu mendapat perhatian, hal ini penulis melakukan riset mengenai kasus yang kerap terjadi pada saluran terbuka dengan adanya penyempitan yang bervariasi dan debit yang bervariasi, Riset penelitian ini mencari kehilangan energi pada saluran terbuka dengan menggunakan model prototype sebagai penyempitan bersudut yang bervariasi dan menggunakan alat ukur debit Thompson V-notch sebagai penunjang penelitian ini. Penyempitan itu sendiri menimbulkan kehilangan energi disuatu saluran terbuka pada kecepatan aliran air dari hulu hingga ke hilir merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya nilai energi. Tinggi rendahnya kecepatan aliran dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kemiringan saluran, lebar saluran, debit air dan lain-lainya. Mengacu pada hukum kontinuitas, kecepatan aliran dapat meningkat bila terjadi peralihan lebar penampang semakin menyempit, bertambahnya kecepatan aliran ini diharapkan dapat meningkatkan nilai energi spesifik aliran. Untuk mengamati perubahan energi spesifik aliran, model fisik dari saluran terbuka dengan mengurangi penampang telah dibuat dari Universitas Muhammadiyah Jember. Saluran dengan lebar 15 cm, pada eksperimen ini lebar dipersempit pada sudut 6° diletakkan pada titik sepanjang saluran dan debit air disahkan pada tingkat debit $5,49 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$. Pengukuran dilakukan pada ketinggian aliran dibagian penyempitan dan sebelum penyempitan, dari hasil pengukuran kemudian dianalisis dengan menggunakan analisa bilangan Froude untuk mengidentifikasi jenis aliran. Dari pengukuran yang sama pada tingkat debit $1,57 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$, $3,73 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$, dan $4,24 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$. Masing-masing eksperimen adalah sama pada debit $5,49 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$ dengan penyempitan di mulai sudut 6° , 9° , dan 12° .

Kata kunci : Penyempitan Bersudut, Bilangan Froude, Energi Spesifik, Saluran Terbuka.

I. PENDAHULUAN

Latar belakang

Saluran terbuka adalah saluran jika permukaan air yang mengalir berada pada kondisi bebas. Saluran terbuka dapat dibedakan dua jenis, yaitu buatan dan alami. Saluran terbuka yang dijumpai baik pada saluran irigasi teknis, semi teknis, dan saluran alami banyak yang beada pada kondisi *non- prismatic*.

Penyempitan saluran yang akan menyebabkan ketinggian, kecepatan dan energi pada aliran berubah. Perubahan energi aliran tersebut akan berpengaruh pada kelancaran aliran dalam saluran yang pada

gilirannya dapat terganggunya distribusi air yang dapat merugikan.

saluran terbuka dengan menggunakan model prototype sebagai penyempitan bersudut yang bervariasi dan menggunakan alat ukur debit Thompson V-notch sebagai penunjang penelitian ini. Penyempitan itu sendiri menimbulkan kehilangan energi disuatu saluran terbuka pada kecepatan aliran air dari hulu hingga ke hilir merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya nilai energi.

Energi adalah tenaga atau gaya yang di hasilkan dari suatu pergerakan baik zat padat maupun cair, ataupun berasal dari perubahan

dari pergerakan. Kata “Energi” berasal dari bahasa Yunani yaitu “*ergon*” yang berarti kerja. Dalam melakukan sesuatu kita selalu memanfaatkan energi, baik secara sadar maupun tidak sadar.

Sedangkan Energi Spesifik, konsep dari Energi Spesifik sudah dikenalkan oleh **Bakhmetef** pada tahun 1912. Bahwa Energi Spesifik adalah tinggi tenaga pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran, atau tenaga pada setiap berat satuan air pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran. Dalam simematis dapat ditulis sebagai $E = (V^2/ 2g) + h$, dengan E = Energi Spesifik (cm), V = kecepatan aliran air (cm/detik), g = percepatan gravitasi (9.81 cm/detik^2) dan h = kedalaman air (cm^2).

Kami mencoba menambahkan dan menyempurnakan hasilnya dengan penambahan sudut terhadap penyempitan yang berjudul “*Perencanaan Ulang Saluran Terbuka Disebabkan Oleh Penyempitan Bersudut Pada Saluran Yang Mengakibatkan Kehilangan Energi*” yang mana penelitian ini menyempurnakan dan menselaraskan pada kasus yang sering terjadi di lapangan.

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik aliran yang terjadi akibat berbagai variasi penyempitan ?
2. Bagaimanakah perubahan nilai Froude yang terjadi pada setiap penyempitan ?
3. Bagaimanakah perubahan nilai Froude yang terjadi pada setiap penyempitan ?

Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Alat debit Thomson (v -noth) sesuai dengan oleh ISO (1980), ASTM (1993) dan USBR (1997).
2. Penyempitan yang dipakai 3 variasi yaitu : 6 cm, 8 cm dan 10 cm, untuk sudutnya yaitu 6 cm (6°), 8 cm (9°) dan 10 cm (12°).
3. Saluran terbuka, alat dari mika / kaca dengan dinding halus dengan bentuk persegi dan trapesium dengan dasar saluran halus di Laboratorium Hidrolika Universitas Muhammadiyah Jember.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tersebut adalah :

1. Menganalisa karakteristik aliran akibat berbagai macam variasi penyempitan.
2. Menghitung perubahan nilai Froude yang terjadi akibat variasi penyempitan.
3. Menghitung perubahan energi spesifik pada saluran di setiap variasi penyempitan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Saluran Terbuka

Saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka. Saluran digolongkan menjadi dua macam yaitu saluran alam (*natural*) dan saluran buatan (*artificial*). Saluran alam meliputi semua saluran air yang terdapat secara alamiah di bumi, melalui anak selokan kecil di pegunungan, sungai kecil dan sungai besar sampai ke muara sungai. Sifat-sifat hidrolis saluran alam biasanya sangat tidak menentu.

Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan tentang penyempitan saluran yang mempengaruhi kehilangan energi yaitu ada beberapa penelitian yaitu :

Bagus A Setiohadi (2012). Desain Ulang Saluran Terbuka Akibat Kehilangan Energi Spesifik Yang Disebabkan Penyempitan Saluran. Menghasilkan karakteristik aliran yang terjadi pada rasio 0,6 ; 0,3 dan 0,2 dengan debit $1,59 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$, $3,85 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$, $4,34 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$, dan $5,44 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$ adalah aliran **subkritis**, dikarenakan Δ Froude nya dibawah nilai 1.

Budi Suteja (1998). Tinjauan Energi Spesifik Akibat Penyempitan Pada Saluran Terbuka. Dari hasil pengamatan dan analisis terhadap data pengukuran di saluran dapat disimpulkan bahwa aliran air melalui penyempitan akan mengalami perubahan ketinggian dan penyempitan saluran berpengaruh nyata terhadap perubahan energi spesifik. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh bahwa perubahan energi spesifik terbesar terjadi pada penyempitan 16 cm pada debit aliran $2.6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$ sebesar -0.0107 m .

Geometri Saluran

Penampang saluran alam umumnya sangat tidak beraturan, biasanya bervariasi dari bentuk seperti parabola sampai trapesium. Istilah penampang saluran (*channel section*) adalah tegak lurus terhadap arah aliran, sedangkan penampang vertikal saluran (*vertical channel*

section) adalah penampang vertikal melalui titik terbawah atau terendah dari penampang.

Penyempitan Saluran

Penyempitan saluran adalah suatu fenomena yang biasa dijumpai pada saluran terbuka. Suatu penyempitan pada saluran terbuka, terdiri atas daerah penyempitan penampang lintang saluran secara mendadak. Pengaruh penyempitan tergantung pada geometri (bentuk) bagian lengkungan masuk penyempitan, kecepatan aliran dan keadaan aliran (Ven Te Chow, 1992).

Aliran yang melalui penyempitan dapat berupa aliran superkritis atau subkritis. Kedalaman kritis dapat dirumuskan sebagai berikut p(Henderson, 1966 dalam Budi S, 1988):

$$hc = 2/3 E \dots\dots\dots (2.1)$$

Aliran Kritis dan Sub kritis

Aliran dikatakan kritis apabila bilangan Froude (F) sama dengan satu (1), sedangkan aliran disebut subkritis atau kadang-kadang dinamakan aliran tenang (*trianguil flow*) apabila $F < 1$ dan disebut superkritis atau aliran cepat (*rapid flow*) apabila $F > 1$. Perbandingan kecepatan aliran dengan gaya grafitasi (per satuan volume) dikenal sebagai bilangan Froude.

Klasifikasi Aliran

Aliran saluran terbuka dapat digolongkan menjadi beberapa jenis dan diuraikan dengan berbagai cara, adalah sebagai berikut (Rangga Raju, 1981):

1. Aliran tunak (*steady flow*) dan aliran tak tunak (*unsteady flow*)

Aliran dalam saluran terbuka dikatakan tunak (*steady*) bila kedalaman aliran tidak berubah atau dianggap konstan selama selang waktu tertentu. Aliran dikatakan tak tunak (*unsteady*) bila kedalamannya berubah sesuai dengan waktu. Debit Q pada suatu penampang saluran untuk sembarang aliran dinyatakan dengan persamaan :

$$Q = V \times A \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan:

V = kecepatan rata-rata (cm^3/detik)

A = luas penampang (cm^2)

Sebagian besar persoalan aliran tunak, berdasarkan suatu pertimbangan, maka debit diasumsikan tetap di sepanjang bagian saluran yang luas, dengan kata lain aliran bersifat tunak kontinu (*continous steady flow*), sehingga dari Persamaan :

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan subscript 1 dan 2 menunjukkan penampang saluran yang berlainan. Persamaan (2.8) tidak dapat dipakai bila debit aliran tunak tak seragam (*nonuniform*) disepanjang saluran karena terjadi limpahan. Jenis aliran ini dikenal sebagai aliran berubah beraturan (*spatially varied flow*) atau aliran diskontinu (*diskontinuous flow*) yang terdapat pada pelimpah samping, air pembilas melalui saringan, cabang saluran sekitar tangki pengolah air buangan, saluran pembuang utama dan saluran pembawa dalam sistem irigasi.

2. Aliran seragam dan Tidak seragam

Aliran pada saluran terbuka dikatakan seragam jika kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran. Aliran seragam yang tunak (*steady uniform flow*) merupakan jenis aliran pokok yang dibahas dalam hidrolika saluran terbuka dengan kedalaman aliran tidak berubah selama waktu tertentu yang telah diperhitungkan. Penetapan bahwa suatu aliran bersifat seragam tak tunak (*unsteady uniform flow*) harus dengan syarat bahwa permukaan air berfluktuasi sepanjang waktu dan tetap sejajar dasar saluran tetapi hal ini merupakan suatu keadaan yang praktis tidak mungkin terjadi. Aliran disebut berubah (*varied*) bila kedalaman aliran berubah di sepanjang saluran dan dapat bersifat tunak maupun tidak tunak. Untuk perhitungan hidrolika, kecepatan aliran rata-rata aliran seragam turbulen dalam saluran terbuka biasanya dinyatakan dengan perkiraan yang dikenal dengan rumus aliran seragam dan sebagian besar persamaannya dapat dinyatakan dalam bentuk umum, yaitu :

$$V = C R \times S_y \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

V = kecepatan rerata (cm^3/det)

R = jari - jari hidrolis (cm)

S = kemiringan energy

x dan y = eksponen

C = faktor tekanan aliran yang bervariasi menurut kecepatan rerata, jari-jari hidrolis, kekasaran saluran, dan berbagai faktor-faktor lainnya.

3. Aliran turbulen dan aliran laminar

Aliran fluida khususnya air diklasifikasikan berdasarkan perbandingan antara gaya-gaya inersia (*inertial forces*) dengan gaya-gaya akibat kekentalan (*viscous forces*) menjadi tiga bagian, yaitu aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen. Variabel yang dipakai untuk klasifikasi ini adalah bilangan *Reynolds* yang didefinisikan sebagai :

$$Re = uL / \nu \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan:

U = karakteristik kecepatan aliran biasanya diambil kecepatan rata-rata (cm/det)

L = panjang karakteristik (cm)

ν = kekentalan kinematik (cm²/det)

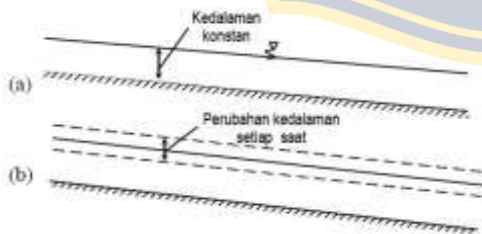
yaitu $\nu = \mu / \rho$

dengan:

μ = kekentalan kinematik (kg/m det)

ρ = kerapatan air dengan satuan (kg/m³)

Selanjutnya klasifikasi aliran berdasar bilangan *Reynolds* dapat dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu $Re < 500$ = aliran laminar, $500 < Re < 12,500$ = aliran peralihan, dan $Re > 12,500$ = aliran turbulen. Umumnya pada saluran terbuka mempunyai $Re > 12,500$ sehingga aliran termasuk dalam kategori aliran turbulen. (Robert, J.K., 2002).



Gambar 2.4.

(a) Aliran seragam, (b) Aliran tak seragam

4. Aliran kritis dan sub kritis

Aliran dikatakan kritis apabila nilai Froude (F) sama dengan satu (1),

sedangkan aliran disebut subkritis atau kadang-kadang dinamakan aliran tenang (*trianguil flow*) apabila $F < 1$ dan disebut superkritis atau aliran cepat (*rapid flow*) apabila $F > 1$. Perbandingan kecepatan aliran dengan gaya gravitasi (per satuan volume) dikenal sebagai nilai Froude dan dapat dirumuskan sebagai berikut (Rangga Raju, 1981) :

$$V/\sqrt{gL} \dots \dots \dots (2.11)$$

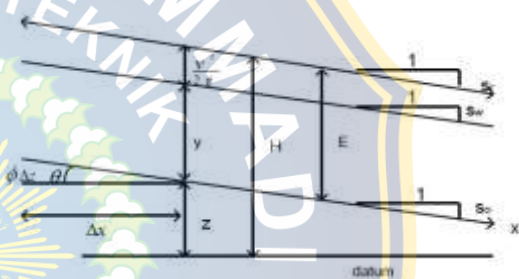
Dengan:

F = nilai Froude

$$E = \frac{V^2}{2g} + h \dots \dots \dots (2.13)$$

V = kecepatan rata-rata aliran (cm/det)

g = pecepatan gravitasi (cm²/det)



L = panjang karakeristik (cm)

Energi Spesifik (*Specific Energy*)

Besarnya energi spesifik dapat dirumuskan sebagai berikut (Ven Te Chow, 1959 dalam Robert, J.K., 2002) :

dengan E = energi spesifik (cm)

Gambar 2.5. Parameter energi spesifik (Robert.J.K. (2002)

Dasar saluran diasumsikan mempunyai kemiringan landai atau tanpa kemiringan. Dengan :

- Z adalah ketinggian dasar diatas sreferensi yang dipilih
- h adalah kedalaman aliran
- faktor koreksi energi (α) dimisalkan sama dengan satu.

Energi spesifik aliran pada setiap penampang tertentu dihitung sebagai total energi pada penampang itu dengan menggunakan dasar saluran sebagai referensi (Rangga Raju, 1981). Persamaan energi secara umum adalah :

$$H = z + h \cos\theta + \alpha \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.14)$$

sehingga persamaan energi untuk saluran datar ($\theta = 0$), adalah :

$$E = \frac{v^2}{2g} + h \dots\dots\dots(2.15)$$

Berhubung $Q = v \times A$, maka rumus energi spesifik menjadi :

$$E = \frac{Q^2}{2gA^2} + h \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan:

H = tinggi energi (cm),

z = tinggi suatu titik terhadap bidang referensi (cm)

α = koefisien energi (pada perhitungan selanjutnya $\alpha = 1$)

E = energi spesifik (cm),

h = kedalaman aliran (cm),

v = kecepatan aliran rata-rata (cm/detik),

A = luas penampang (cm²),

g = percepatan gravitasi (cm/detik²),

Q = debit (cm³/det).

Perbedaan energi sebelum penyempitan dan energi setelah penyempitan dikenal sebagai kehilangan energi, yaitu $\Delta E = E_1 - E_2$ sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6. Profil aliran melalui penyempitan (Ven Te Chow, 1992)

Dari Gambar 2.6 diperoleh persamaan besarnya kehilangan energi sebagai berikut

$$\Delta E = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} - y_3 - \frac{v_3^2}{2g} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan:

ΔE = kehilangan energi (cm)

y_1 = tinggi air sebelum penyempitan (cm)

y_3 = tinggi air pada penyempitan (cm)

v_1 = kecepatan air sebelum penyempitan (cm/det)

v_3 = kecepatan air pada penyempitan (cm/det)

Kecepatan dapat diturunkan dari persamaan sebelumnya, sehingga Persamaan (2.17) menjadi ;

$$\Delta E = y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - y_3 - \frac{Q^2}{2gA_3^2} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan:

A_1 = luas penampang titik 1 (cm²)

A_3 = luas penampang titik 3 (cm²)

Alat ukur debit (Alat ukur CIPOLETTI)

Gambaran Umum

Alat Ukur Debit Cippolleti adalah suatu alat ukur debit berdasarkan peluapan sempurna dengan ambang tipis. Alat ukur ini merupakan dinding tegak dengan penampang pengaliran (penampang basah) yang berbentuk trapesium (sisinya 4 : 1). Alat ukur debit ini digunakan untuk mengukur debit saluran yang tidak begitu besar dengan debit antara 200 hingga 2000 l/d, dan biasa dipakai pada saluran yang langsung ke sawah. Alat ini sesuai dipakai di pegunungan dimana tanah mempunyai kemiringan yang cukup besar.

Rumusan Umum

Rumus umum yang menghubungkan ketinggian muka air (h) dan debit (Q) untuk alat ukur ambang Cipoletti adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot b \cdot h^{3/2} \sqrt{2 \cdot g}$$

Dengan :

Q = debit aliran (m³/s)

C_d = koefisien debit $\approx 0,63$

b = lebar ambang (m)

h = tinggi muka air (m)

g = gravitasi (9,8 cm/detik²)

Dikarenakan terjadi kontraksi aliran air permukaan bebas di muka ambang tajam maka persamaan alat ukur cipoletti menjadi:

$$Q = 0,42 \cdot b \cdot h \sqrt{2gh}$$

$$Q = 1,86 \cdot b \cdot h^{3/2}$$

Kelebihan dan Kekurangan Alat Ukur Cipoletti

- a. Adapun kelebihan dari alat ukur debit Cipoletti adalah :
 - 1) Sederhana dan mudah dibuat
 - 2) Biaya pelaksanaan tidak mahal
- b. Adapun Kekurangan dari alat ukur debit Cipoletti adalah :
 - 1) Terjadi sedimentasi di hulu bangunan.

- 2) Pengukuran debit tidak bisa dilakukan jika muka air hilir naik diatas elevasi ambang bangunan ukur.

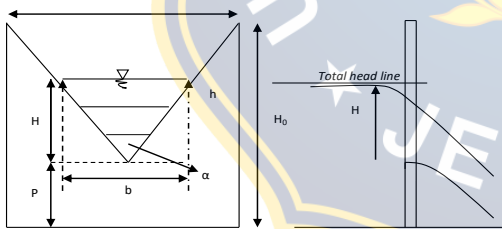
Alat ukur debit (ALAT UKUR THOMPSON)

Gambaran Umum

Alat ukur ini berbentuk segitiga sama kaki terbalik, dengan sudut puncak di bawah. Sudut puncak dapat merupakan sudut siku atau sudut lain, misalnya 60° atau 30° . Alat ukur Thompson sering digunakan untuk mengukur debit-debit yang kecil yaitu sekitar 200 lt/detik. Sebagai alat ukur, sekat Thompson sangat dibutuhkan untuk mengetahui perkiraan debit air yang akan dan sudah diolah.

Rumusan Umum

Berdasarkan pada bentuk puncak peluap biasa berupa ambang tipis maupun lebar. peluap biasa disebut ambang tipis bila tebal peluap $t < 0,5 H$ dan disebut ambang lebar. Apabila $0,5 H < t < 0,66 H$ keadaan aliran adalah tidak stabil dimana dapat terjadi kondisi aliran air melalui peluap ambang tipis atau ambang lebar. Gambar dibawah ini menunjukkan peluap segitiga, dimana air mengalir di atas peluap tersebut, tinggi peluapan adalah H dan sudut peluap segitiga adalah α . Dari gambar tersebut lebar muka air adalah:



Gambar 2.15. Sekat Thompson (V-notch)

$$B = 2 H \operatorname{Tg} \alpha / 2$$

Dengan menggunakan persamaan deferensial dan integrasi didapat suatu rumus persamaan untuk mencari nilai debit pada alat ukur peluap segitiga, adapun persamaan tersebut adalah :

$$Q = \frac{8}{15} C_d \cdot \tan \frac{\theta}{2} \cdot h^{5/2} \sqrt{2 \cdot g}$$

Apabila sudut $\alpha = 90^\circ$, $C_d = 0,6$ dan

percepatan gravitasi = $9,81 \text{ m}^2/\text{d}$ maka ,debitnya $Q = 1,417 H^{5/2}$

Persamaan V-notch telah distandarkan oleh ISO (1980), ASTM (1993), and USBR (1997) semuanya memberikan hasil menggunakan *Kindsvater-Shen equation*.

Pertimbangan dalam Pengukuran Debit Alat Ukur Thompson

- Weir harus halus dan tegak lurus terhadap sumbu kanal
- Panjang weir atau sudut notch ditentukan dengan akurat
- Mengupayakan tinggi kanal dari dasar dua kali dari maksimum head air di atas dasar takik
- Bahannya dari lempeng tipis 3-5 mm,
- Alat ukur dipasang pada jarak minimal tiga kali head maksimumnya.

Ciri-Ciri Alat Thompson

Ciri-ciri khusus dari alat ukur Thompson, antara lain:

- Konstruksi sederhana sehingga dapat dibuat dari bahan-bahan lokal seperti kayu, plat besi dan sebagainya.
- Berbentuk segitiga dengan berbagai macam sudut sesuai dengan kebutuhan dan tujuan penggunaannya.
- Dapat digunakan untuk mengukur debit air pada saluran yang berukuran kecil, misalnya saluran sekunder dan tersier.
- Bila diperlukan dibuat dalam bentuk yang dipindah-pindahkan. Sangat cocok untuk areal perkebunan tebu yang sering pindah-pindah lokasi atau untuk keperluan penelitian efisiensi irigasi dan kebutuhan air tanaman.
- Agar dapat berfungsi dengan baik, diperlukan kemiringan aliran air yang cukup dan tidak cocok dipakai diareal irigasi yang datar.
- Di muka ambang, tidak mudah terjadi pengendapan lumpur yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran debit dan perlu pemeliharaan yang teratur.

Kelebihan dan Kekurangan Alat Ukur Thompson

Adapun kelebihan dari alat ukur debit Thomson adalah :

- Sederhana dan mudah dibuat
- Biaya pelaksanaan tidak mahal

Adapun kekurangan dari alat ukur debit Thomson adalah :

- 1) Hanya dapat digunakan pada debit aliran yang kecil ($< 100 \text{ l/d}$).
- 2) Penggunaannya sering kurang optimal karena gejolak aliran yang melalui sekat terlampau besar (sangat turbulen) dan jarak dari ambang ke saluran di hulunya tidak memenuhi syarat.
- 3) Pengukuran debit tidak bisa dilakukan jika muka air hilir naik diatas elevasi ambang bangunan ukur.

Distribusi Kecepatan

Kecepatan aliran mempunyai tiga Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan cara antara lain menggunakan alat pengukur aliran (*current meter*) mengukur kecepatan rata-rata pada segmen-segmen penampang dengan membagi-bagi penampang saluran secara vertikal, menggunakan pelampung yang dihanyutkan ke dalam aliran dengan mencatat laju pelampung pada jarak tertentu, dan distribusi kecepatan secara umum.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Kerangka Konsep Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah dijelaskan diatas, maka didapat konsep penelitian sebagai berikut :



Gambar 3.1. Kerangka Konsep Penelitian

Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian serta kerangka konsep penelitian yang telah dijelaskan di atas, maka dapat dikemukakan hipotesis sebagai berikut :

1. Karakteristik aliran yang terjadi adalah subkritis, di karenakan nilai Froude < 1 .
2. ΔE mengalami kenaikan yang di sebabkan tinggi air naik bersamaan dengan terjadinya variasi penyempitan.
3. Model aplikasi perubahan energi di lakukan dengan cara pengukuran existing lapangan dan menggunakan metode benda uji (kriki, batu)

Tempat dan Waktu Penelitian

- Di laboratorium
Hari senin – kamis waktu tidak di tentukan
- Di lapangan
Hari rabo tanggal 7 oktober 2020

Pembuatan Alat V-Notch

Penelitian dilakukan terhadap saluran terbuka yang pada bagian tertentu terdapat penyempitan. Pada bak penampung awal terdapat pintu air dan alat ukur debit Thomson diletakkan di depan pintu air. Bak awal dan bak akhir dihubungkan dengan saluran terbuka yang berbentuk persegi dan bentuk trapesium. Di tengah saluran bentuk persegi juga ditempatkan pintu air.

h_1	15	cm	h	6	cm	h_2	7.5	cm
H_2	24.5	cm	p	0.4	cm	h	1.5	cm
tr	0.02	cm	h	15	cm			
b_0	0.1		b			a_k		
E_2	2.2			14.4			0.42	ak

Sumber : Hasil Penelitian 2020

Tabel 3.1. Desain V-Notch



Gambar 3.2. Model V-Nocth

Pengujian

Variasi penyempitan dalam penelitian adalah 10 cm, 8 cm, 3 cm. pengukuran yang dilakukan meliputi pengukuran debit, dan pengukuran ketinggian air pada tiap titik pada variasi penyempitan.

Pengukuran Debit Aliran

Debit yang diukur menggunakan kombinasi bukaan pintu dan tinggi permukaan air pada alat ukur debit segitiga dengan variasi tinggi

air 2.3 cm, 3.5 cm, 5 cm, 5.5 cm, 6 cm, 6.5 cm, 7.5 cm. Menentukan tinggi muka air pada alat V-notch kemudian air di biarkan lewat sampai batas akhir air tidak keluar lagi dan pengukuran dilakukan saat tinggi muka air pada alat ukur v-notch benar – benar konstan, kemudian dilakukan pengukuran sebanyak 6 kali. Pengukuran di lakukan dengan cara bebarapa lama waktu yang di perlukan untuk memenuhi bejana berkapasitas 189 liter. Debit rata – rata dihitung dengan persamaan :

$$Q_n = V_n / T_n$$

Dengan:

Q = Debit (liter/detik)

V = Volume (liter)

T = Waktu (detik)

n = Nomor percobaan dari beberapa pengukuran debit

Dari ketinggian pengukuran tersebut akan dapat diketahui hubungan antara tinggi muka air pada alat ukur dengan debit yang terjadi.

Pengukuran ketinggian Air Pada Penyempitan

Ketinggian air diukur pada 4 variasi debit dan penyempitan. Debit melalui saluran yang mengalami penyempitan adalah 1.59×10^{-2} m³/detik, 3.85×10^{-2} m³/detik, 4.34×10^{-2} m³/detik dan 5.44×10^{-2} m³/detik. Variasi penyempitan yang dipakai dalam penelitian ini adalah 10 cm, 8 cm, 6 cm.

Perhitungan Luas Penampang

Luas penampang yang diukur pada penelitian ini adalah luas penampang sepanjang penyempitan, dengan persamaan :

$$A = b \times h$$

Dengan :

A = Luas penampang (m²)

b = Lebar penampang (cm)

h = Tinggi muka air (cm)

Perhitungan Nilai Fraude

Perhitungan ini berguna untuk menentukan jenis aliran apakah aliran kritis, subkritis atau superkritis dengan menggunakan persamaan :

$$F = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

Dengan:

F = Nilai froud

v = Kecepatan rata (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (m²/detik)

D = Kedalaman hidroulik (m)

Perhitungan Energi Spesifik

Dari hasil pengukuran ketinggian air yang terjadi pada penyempitan, selanjutnya energi spesifik dapat dihitung dengan persamaan :

$$E = \frac{Q^2}{2gA^2} + h$$

Rumus di atas dilakukan dengan h rata – rata sebelum penyempitan dan pada penyempitan sehingga kehilangan energy dapat di hitung dengan persamaan :

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

Dan selanjutnya di hitung dengan perbandingan menggunakan rumus :

$$\Delta E = y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - y_2 - \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

Dengan y₁ dan y₂ adalah tinggi air sebelum dan pada penyempitan yang di lakukan pengukuran sebanyak 3 kali.

Perhitungan Kecepatan Aliran air

Kecepatan aliran air di cari karena untuk mengetahui seberapa cepat aliran air yang ada di tempat tersebut, baik di saluran maupun di paralon penyalur air lainnya, di sini sudah di ketahui yaitu debitnya, untuk selanjutnya menentukan jarak dan waktu tempuhnya. Di sini untuk medianya saya menggunakan sterofom yang di hanyutkan di saluran yang sudah di tentukan debitnya, untuk rumusnya yaitu

$$v = \frac{s}{t}$$

Dengan :

v = kecepatan aliran air (m/detik)

s = jarak yang di tempuh (m)

t = waktu yang di tempuh (detik)

Pengukuran Kadar Oksigen Dalam Air

Oksigen terlarut (DO - *Dissolved Oxygen*) adalah jumlah mg/l gas oksigen yang terlarut di dalam air. Oksigen terlarut di dalam air dapat berasal dari hasil proses fotosintesa oleh fitoplankton atau tanaman air lainnya, difusi dari udara, proses asimilasi, gerakan air di perairan seperti umurnya air hujan dan ombak (Asmawi,1984). Penentuan kadar oksigen di dalam suatu perairan dapat dilakukan

dengan dua cara, yaitu dengan titrasi (*titrimetri*) dan dengan penggunaan alat ukur elektronik yang dinamakan DO meter.

1. Cara kerja alat DO meter:

- Slide (geser) selector O:i/DO ke posisi DO, sebelum di celupkan ke dalam air yang akan di uji.
- Celupkan probe ke dalam air sampel sekurang-kurangnya dengan kedalaman 10 cm, agar probe dipengaruhi oleh temperature dan terjadi pergantian temperature secara otomatis.
- Agar keseimbangan panas terjadi di antara probe dengan sampel yang di ukur jadi harus di tunggu sampai lima menit. Pastikan hasilnya stabil atau goyangkan/kocokan probe tersebut.
- Selama pengukuran di laboratorium, disarankan untuk menggunakan suatu pengaduk magnetic stirrer untuk memastikan kecepatan tertentu dalam cairan.
- Dengan cara ini error (kesalahan) akibat penyebaran dari oksigen yang ada dalam udara air sampel berkurang sampai batas minimal.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN
Kalibrasi Alat ukur debit V-Notch

C merupakan koefisien alat ukur debit V-Notch, Koefisien debit V-Notch di lapangan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan besarnya nilai C rata – rata adalah 60,148. Sebagai contoh untuk H = 2,3 dengan volume 189,01 liter, diperoleh nilai C sebagai berikut :

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,18901}{12,0633} = 0,015883 \text{ m}^3/\text{detik} = 1,57 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$C = \frac{Q}{H^2} = \frac{1,57 \times 10^{-2}}{0,023^2} = 195,300$$

Tabel 4.1. Tabel Perhitungan Variasi Debit Aliran Berdasarkan Tinggi Muka V-Notch

No	Hr (cm)	Hr (m)	Hr (%)	Waktu (detik)						Volume (l)	Debit (l/detik)	Koefisien
				t1	t2	t3	t4	t5	t6			
1	2,3	0,023	0,02278-06	11,11	11,24	11,59	12,08	12,38	12,21	12,603	0,0157	195,300
2	3,5	0,035	0,0348129	8,66	8,28	7,98	7,49	7,26	8,28	7,896	0,0239	194,428
3	5	0,05	0,048959	6,66	6,21	6,12	5,85	6,07	6,28	6,117	0,0309	95,277
4	5,5	0,055	0,049789	5,25	5,17	5,23	4,56	5,06	5,15	5,073	0,0375	52,516
5	6	0,06	0,048882	4,59	4,46	4,58	4,36	4,42	4,38	4,403	0,0424	40,899
6	6,5	0,065	0,049077	4,18	4,25	4,38	4,29	4,23	4,36	4,282	0,0441	40,992
7	7,5	0,075	0,048548	3,68	3,42	3,34	3,45	3,55	3,41	3,443	0,0549	36,630
											C	60,148

Sumber : Hasil Penelitian 2020

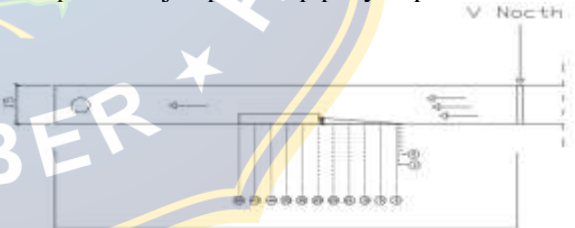
Dari tabel di atas dapat diketahui hasil dari waktu yang dibutuhkan, debit yang ditentukan di setiap melewati alat ukur dan juga koefisien aliran air.

Ketinggian Muka Air

Perhitungan Tinggi Muka Air Pada Penyempitan

Hasil pengukuran ketinggian air (cm) dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dan angka 2,3, 3,5, 5, 5,5, 6, 6,5, dan 7,5 menunjukkan tinggi muka air pada alat ukur debit V-Notch, satuan yang digunakan dalam grafik dibawah adalah centimeter. Angka 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 menunjukkan jarak titik tinjau pada penyempitan.

Ketinggian muka air sebelum masuk penyempitan adalah 1,6 cm pada debit 1,57 x 10⁻² m³/detik, 3,8 cm pada debit 3,73 x 10⁻² m³/detik, 4,6 cm pada debit 4,24 x 10⁻² m³/detik, dan 6,8 cm pada debit 5,49 x 10⁻² m³/detik. Ketinggian muka air untuk debit 5,49 x 10⁻² m³/detik mengalami kenaikan pada saat masuk penyempitan, dan mempunyai efek pembendungan yang disebabkan adanya perubahan penampang secara mendadak dan debit yang sangat besar. Pada penyempitan 5 cm dan 3 cm tinggi muka air mengalami penurunan secara stabil dan signifikan karena penyempitan yang terjadi relatif kecil. Dari ketinggian muka air dapat dibuat grafik perubahan tinggi muka air di tiap titik tinjau pada tiap penyempitan.

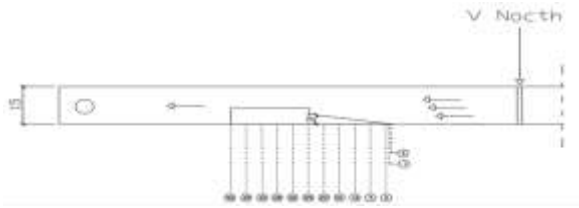


Gambar 4.1. Denah Penyempitan 6 cm di Laboratorium

Tabel 4.2. Tabel Ketinggian Muka Air Tiap Titik Tinjau Pada Penyempitan 6 cm

Hr (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (cm)													
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Penyempitan 6 cm = lebar saluran 9 cm															
2,3	1,57E-02	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	2,1	1,8	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	cm
5	3,73E-02	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,4	2,4	2,2	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	cm
6	4,24E-02	1,8	2	2,1	2,2	2,3	2,9	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,1	2,1	cm
7,5	5,49E-02	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	3,3	3,1	2,9	2,8	2,6	2,5	2,3	2,3	cm

Sumber : Hasil Penelitian 2020

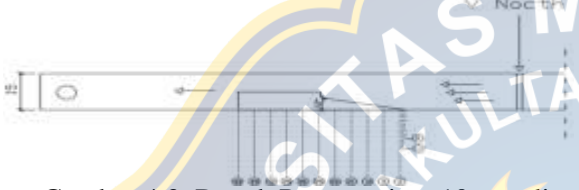


Gambar 4.2. Denah Penyempitan 8 cm di Laboratorium

Tabel 4.3. Tabel Ketinggian Muka Air Tiap Titik Tinjau Pada Penyempitan 8 cm

Hv (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (cm)														
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50		
Penyempitan 8 cm = lebar saluran 7 cm																
2,3	1,57E-02	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	3	2,8	2,6	2,3	2,1	1,9	1,6	1,3	cm	
5	3,73E-02	2,8	3	3,1	3,3	3,4	4	3,9	3,7	3,6	3,4	3,1	3	2,8	cm	
6	4,24E-02	3	3,1	3,3	3,4	3,6	4,7	4,5	4,2	4	3,9	3,8	3,6	3,5	cm	
7,5	5,49E-02	3,4	3,7	3,8	3,9	4	4,8	4,5	4,3	4,2	4,1	4	3,8	3,6	cm	

Sumber : Hasil Penelitian 2020

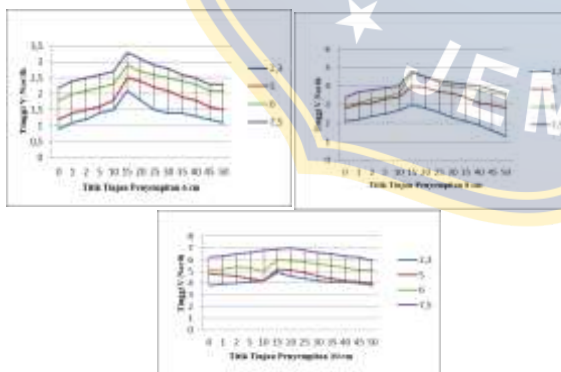


Gambar 4.3. Denah Penyempitan 10 cm di Laboratorium

Tabel 4.4. Tabel Ketinggian Muka Air Tiap Titik Tinjau Pada Penyempitan 10 cm

Hv (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (cm)														
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50		
Penyempitan 10 cm = lebar saluran 5 cm																
2,3	1,57E-02	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,9	4,6	4,4	4,2	4,1	4,1	4	3,8	cm	
5	3,73E-02	4,8	4,7	4,6	4,4	4,2	5,2	5,1	4,9	4,6	4,4	4,2	4,1	4	cm	
6	4,24E-02	5,1	5,2	5,4	5,3	5	6	5,9	5,8	5,6	5,5	5,3	5,1	5,1	cm	
7,5	5,49E-02	6,2	6,3	6,5	6,6	6,8	6,9	7	6,8	6,6	6,5	6,3	6,2	5,9	cm	

Sumber : Hasil Penelitian 2020



Gambar Grafik Perubahan Tinggi Muka Air pada Penyempitan

Perbandingan tinggi muka air di hulu dan hilir

Tinggi muka air di pada saat penyempitan dan setelah penyempitan itu berbeda, karena pada saat penyempitan tinggi muka air akan mengalami kenaikan, nilai ketinggian muka

airnya pasti lebih tinggi dari pada sebelum dan setelah penyempitan. Berikut adalah tabel perbandingan dari tinggi muka air sebelum dan setelah penyempitan.

1. Tabel Tinggi Muka Air di Hulu

Tabel 4.5. Tabel Ketinggian Muka Air di Hulu Penyempitan 10 cm

(m ³ /detik)	1	2	3	4	ΔH	
Penyempitan 10 cm = lebar saluran 5 cm						
1,57E-02	3,4	3,5	3,6	3,7	3,6	cm
3,73E-02	4	4,2	4,5	4,6	4,3	cm
4,24E-02	4,6	4,7	4,7	4,8	4,7	cm
5,49E-02	5,3	5,5	5,5	5,8	5,5	cm

Sumber: Hasil Penelitian 2020

Tabel 4.6. Tabel Ketinggian Muka Air di Hulu Penyempitan 8 cm

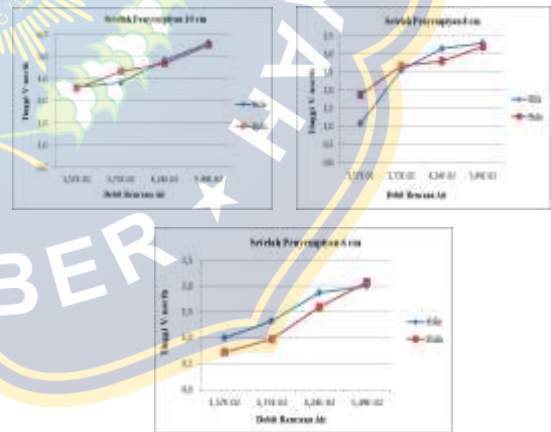
(m ³ /detik)	1	2	3	4	ΔH	
Penyempitan 8 cm = lebar saluran 7 cm						
1,57E-02	1,8	1,8	1,9	2	1,9	cm
3,73E-02	2,5	2,7	2,7	2,8	2,7	cm
4,24E-02	2,7	2,8	2,8	2,9	2,8	cm
5,49E-02	3,1	3,2	3,2	3,3	3,2	cm

Sumber: Hasil Penelitian 2020

Tabel 4.10. Tabel Ketinggian Muka Air di Hulu Penyempitan 6 cm

(m ³ /detik)	1	2	3	4	ΔH	
Penyempitan 6 cm = lebar saluran 9 cm						
1,57E-02	1,1	1	1	0,9	1,0	cm
3,73E-02	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	cm
4,24E-02	2	1,9	1,8	1,8	1,9	cm
5,49E-02	2,1	2	2	1,9	2,0	cm

Sumber: Hasil Penelitian 2020



Gambar Grafik Perubahan Tinggi Muka Air Setelah Penyempitan

Perhitungan Luas Penampang

Dari hasil tabel ketinggian muka air pada penyempitan dapat dihitung untuk luas penampang pada tiap titik tinjau dengan variasi penyempitan dan variasi debit dan hasil perhitungan luas penampang dapat di lihat pada

tabel 4,11 dengan satuan cm atau m². Perhitungan luas penampang di hitung dengan rumus : $A = b \times h$

Dengan :

A = Luas penampang (cm²)

b = Lebar saluran (saat penyempitan) (cm)

h = Tinggi muka air (cm)

Contoh penyelesaian :

Diket : $h = 3,9$ cm

$b = 5$ cm (lebar saluran dikuangi lebar penyempitan)

❖ jawab : $A = b \times h$

$$5 \times 3,9 = 19 \text{ cm}^2$$

Di bawah ini adalah data tabel perhitngan luas penampang yang di peroleh melalui perhitungan di atas pada setiap titik tinjau, debit dan penyempitan sudah di tentukan.

Perhitungan Nilai Froude

Nilai froude dihitung dengan persamaan $v = Q / A$, dan dengan menggunakan A sebagai perkalian kedalaman hidraulis (h) dengan lebar saluran pada penyempitan dan tanpa penyempitan (b), selanjutnya dapat dirumuskan :

dengan ketentuan
$$F = \frac{Q}{An\sqrt{g(A/bn)}}$$

Nilai Froude :

Nilai Froude = 1 di nyatakan **Kritis**

Nilai Froude < 1 di nyatakan **Subkritis**

Nilai Froude > 1 di nyatakan **Superkritis**

$$F = \frac{5,49E-02}{0,0102 \times \sqrt{9,81 \times 0,0102}} \rightarrow \frac{0,054892006}{0,0102 \times 12,01102} \rightarrow 0,4480525 < 1 \text{ SUBKRITIS}$$

Untuk perhitungan dan perubahan nilai Froude dapat di lihat pada tabel 4.13, 4.14, dan 4.15 serta grafik perubahan nilai Forude pada gambar Grafik 4.10, 4.11, dan 4.12.

Tabel 4.13. Perubahan Nilai Froude Penyempitan 6 cm

Hv (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjau (cm)												
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 6 cm = lebar saluran 9 cm														
2,3	1,57E-02	0,2826	0,3776	0,3729	0,3683	0,3639	0,3639	0,3477	0,3555	0,3639	0,3683	0,3683	0,3729	0,3826
5	3,73E-02	0,8093	0,8179	0,8268	0,8453	0,8652	0,8652	0,7852	0,8010	0,8268	0,8453	0,8652	0,8757	0,8866
6	4,24E-02	0,8932	0,8845	0,8680	0,8761	0,9020	0,8234	0,8304	0,8375	0,8534	0,8601	0,8761	0,8932	0,8932
7,5	5,49E-02	1,0492	1,0409	1,0247	1,0169	1,0019	1,0019	0,9875	1,0019	1,0247	1,0247	1,0409	1,0492	1,0756

Sumber: Hasil Penelitian 2020

Tabel 4.14. Perubahan Nilai Froude Penyempitan 8 cm

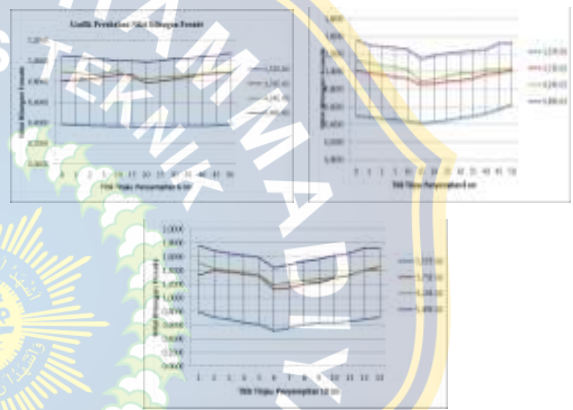
Hv (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjau (cm)												
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 8 cm = lebar saluran 7 cm														
2,3	1,57E-02	0,4931	0,4938	0,4933	0,4930	0,4349	0,4126	0,4270	0,4452	0,4712	0,4931	0,5095	0,5095	0,5268
5	3,73E-02	0,8155	0,9031	0,9450	0,9554	0,9216	0,8496	0,8495	0,8834	0,9156	0,9216	0,9450	0,9811	1,0155
6	4,24E-02	0,8160	0,8978	0,8640	0,8483	0,8188	0,8916	0,9112	0,9452	0,9788	0,9788	1,0188	1,0188	1,0312
7,5	5,49E-02	0,9578	1,0408	1,0444	1,0478	0,9238	1,0438	1,0492	1,0744	1,0744	1,0744	1,0744	1,0744	1,0744

Sumber: Hasil Penelitian 2020

Tabel 4.15 Perubahan Nilai Froude Penyempitan 10 cm

Hv (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjau (cm)												
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 10 cm = lebar saluran 5 cm														
2,3	1,57E-02	0,7861	0,7118	0,6898	0,6261	0,6889	0,5146	0,5558	0,6889	0,6268	0,6268	0,6540	0,6889	0,7118
5	3,73E-02	1,3299	1,3078	1,2735	1,2425	1,2017	1,1215	1,0446	1,0955	1,2126	1,2644	1,2017	1,4018	1,4478
6	4,24E-02	1,5034	1,4262	1,3819	1,3599	1,3380	1,1844	1,2275	1,2509	1,2757	1,3010	1,3380	1,3919	1,3919
7,5	5,49E-02	1,7014	1,6864	1,6420	1,6242	1,5980	1,4382	1,4838	1,5242	1,5483	1,6242	1,6523	1,7007	1,7217

Sumber: Hasil Penelitian 2020



Grafik Perubahan Nilai Froude di lihat dari titik tinjau penyempitan

Perhitungan Energi Spesifik

Perhitungan energi spesifik diselesaikan untuk masing-masing penyempitan saluran dan debit yang terjadi dan hasilnya dirangkum dalam Tabel 4.16, 4.17 dan 4.18.

Untuk penyempitan 10, 8, dan 6 cm dengan debit $5,49 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$ dan $3,73 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ dapat dilihat bahwa pada awal tiap penyempitan energi spesifik mengalami peningkatan. Semakin besar penyempitan, energy yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini disebabkan karena muka air naik akibat efek pembendungan. Untuk debit $1,57 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$ diketahui bahwa pada awal penyempitan 10 cm dan 8 cm terjadi kenaikan energi spesifik sedang pada penyempitan 3 cm energi spesifik turun yang dikarenakan aliran mengalami penurunan.

$$E = \frac{1,57E-02}{2 \times 9,81 \times 0,0024^2} \times 0,016 \rightarrow \frac{2,45E-04}{0,000113} \times 0,016 \rightarrow 2,18830199$$

$$E = \frac{1,57E-02}{2 \times 9,81 \times 0,0019^2} \times 0,038 \rightarrow \frac{0,0002455}{7,083E-05} \times 0,038 \rightarrow 3,50405525$$

$$\Delta E = -1,31575 \rightarrow$$

❖ Jadi dari hasil diatas di ambil nilai yang lebih besar yaitu 3,50405525

Tabel 4.16. Perubahan ΔE pada Tiap Titik Tinjau Penyempitan 6 cm

Debit	Jarak titik tinjau (cm)													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,57E-02	3,941	3,326	3,181	3,181	2,973	2,135	2,413	2,820	2,973	3,034	3,034	3,181	3,941	
3,73E-02	12,300	12,872	13,472	14,066	14,629	15,271	15,945	16,648	17,319	18,000	18,748	19,500		
4,24E-02	14,236	15,503	16,899	18,081	19,063	20,231	21,777	23,426	25,191	27,000	28,891	30,891		
5,49E-02	16,427	18,584	20,869	23,303	25,959	29,077	32,808	37,200	42,300	48,100	54,700	62,300		

Sumber: Hasil Penelitian 2020

Tabel 4.17. Perubahan ΔE pada Tiap Titik Tinjau Penyempitan 8 cm

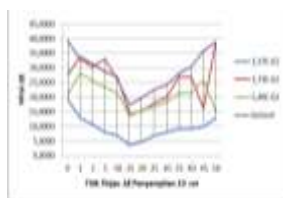
Debit	Jarak titik tinjau (cm)													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,57E-02	5,814	5,290	4,873	4,357	3,529	2,697	3,285	3,885	4,492	5,014	5,014	5,814		
3,73E-02	18,433	19,718	21,045	22,297	23,523	24,981	26,512	28,100	29,748	31,466	33,250	35,100		
4,24E-02	21,762	23,478	25,277	27,145	28,967	30,940	33,074	35,369	37,789	40,350	43,000	45,800		
5,49E-02	25,342	27,689	30,169	32,786	35,553	38,524	41,769	45,250	48,900	52,700	56,650	60,800		

Sumber: Hasil Penelitian 2020

Tabel 4.18. Perubahan ΔE pada Tiap Titik Tinjau Penyempitan 10 cm

Debit	Jarak titik tinjau (cm)													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,57E-02	19,080	12,775	10,724	7,854	6,895	3,529	4,787	6,085	7,059	8,155	8,155	9,909	12,775	
3,73E-02	27,644	33,663	35,458	38,736	42,073	45,992	50,389	55,167	60,250	65,700	71,450	77,500		
4,24E-02	31,762	38,278	45,642	53,715	62,382	71,668	81,520	91,900	102,850	114,300	126,300	138,800		
5,49E-02	36,052	43,944	52,807	62,467	72,859	83,900	95,550	107,750	120,500	133,800	147,600	161,900		

Sumber: Hasil Penelitian 2020



Grafik Perubahan ΔE pada Tiap Titik Tinjau Penyempitan

Dari hasil perhitungan ΔE di ketahui bahwa kenaikan terbesar energi spesifik terjadi pada aliran dengan penyempitan 10 cm pada debit $4,24 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$. Perhitungan naik dan turun nya

nilai Froude dan ΔE dapat di lihat pada tabel 4.19 dan 4.20 berikut.

Tabel 4.19. Analisa Nilai Froude untuk Ratio Penyempitan

Debit	No	B saluran	Variasi Penyempitan	Ratio %	$\Delta Froude$
1,57E-02	1	15	6	0,4	0,3683
	2	15	8	0,5	0,4831
	3	15	10	0,7	0,6444
3,73E-02	1	15	6	0,4	0,8387
	2	15	8	0,5	0,9378
	3	15	10	0,7	1,3006
4,24E-02	1	15	6	0,4	0,8885
	2	15	8	0,5	1,0092
	3	15	10	0,7	1,3358
5,49E-02	1	15	6	0,4	1,0262
	2	15	8	0,5	1,2571
	3	15	10	0,7	1,6389

Sumber: Hasil Penelitian 2020

Tabel 4.20. Analisa Nilai ΔE untuk Ratio Penyempitan

Debit	No	B saluran	Variasi Penyempitan	Ratio %	ΔE
1,57E-02	1	15	6	0,4	2,98550
	2	15	8	0,5	5,84852
	3	15	10	0,7	9,34875
3,73E-02	1	15	6	0,4	13,95349
	2	15	8	0,5	13,98484
	3	15	10	0,7	24,95286
4,24E-02	1	15	6	0,4	12,70031
	2	15	8	0,5	14,34616
	3	15	10	0,7	20,33972
5,49E-02	1	15	6	0,4	14,70825
	2	15	8	0,5	19,93822
	3	15	10	0,7	29,13057

Perhitungan Kecepatan aliran air Kecepatan Aliran Air di Penyempitan

Kecepatan aliran air di cari karena untuk mengetahui seberapa cepat aliran air yang ada di tempat tersebut, baik di saluran maupun di paralon penyalur air lainnya, di sini sudah di ketahui yaitu debitnya, untuk selanjutnya menentukan jarak (Sumber: Hasil Penelitian 2020)

$$\text{Untuk rumus nya : } v = \frac{s}{t}$$

Tabel 4.22. Analisa Nilai kecepatan aliran penyempitan 6 cm

Debit (m³/detik)	Penyempitan 6 cm		
	S	t	v
1,57E-02	1,4	5,69	0,2460
3,73E-02	1,4	4,38	0,3196
4,24E-02	1,4	3,83	0,3655
5,49E-02	1,4	3,57	0,3922
Δv			0,3308

Sumber: Hasil Penelitian 2020

Kecepatan Aliran Air Setelah Penyempitan

Kecepatan di setelah penyempitan ini akan naik karena penyempitan yang menghambat kecepatan aliran tidak ada, tetapi tinggi muka air juga akan turun. Jadi penyempitan pada saluran sangat berpengaruh terhadap kecepatan dan muka air itu sendiri. Di bawah ini adalah tabel kecepatan air setelah penyempitan.

Tabel 4.25. Analisa Nilai kecepatan aliran Setelah penyempitan 6 cm

Penyempitan 6 cm			
Debit	S	t	v
(m ³ /detik)	m	detik	m/detik
1,57E-02	0,7	1,7	0,4118
3,73E-02	0,7	1,6	0,4375
4,24E-02	0,7	1,4	0,5000
5,49E-02	0,7	1,2	0,5833
	Δv		0,4831

Sumber: Hasil Penelitian 2020

Pengukuran Kadar Oksigen Dalam Air

Oksigen terlarut (DO - Dissolved Oxygen) adalah jumlah mg/l gas oksigen yang terlarut di dalam air. Oksigen terlarut di dalam air dapat berasal dari hasil proses fotosintesa oleh fitoplankton atau tanaman air lainnya, difusi dari udara, proses asimilasi, gerakan air di perairan seperti umurnya air hujan dan ombak (Asmawi,1984). Penentuan kadar oksigen di dalam suatu perairan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan titrasi (*titrimetrik*) dan dengan penggunaan alat ukur elektronik yang dinamakan DO meter.

Contoh Cara Mencari Kadar Oksigen Dengan DO Meter

Tabel 4.28. Contoh hasil pengukuran oksigen terlarut pada musim hujan (DO)

Kedalaman	Konsentrasi oksigen terlarut (mg/l)			
	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III	Stasiun IV
0	17,85	17,89	18,91	18
2	17,89	18,91	18,91	18
4	17,89	18,91	18,91	17,75
8	17,85	18,91	18,91	17,75
D	18,91	18,91	18,91	18,91

Untuk hasilnya pengamatan stasiun I sampai stasiun IV dan mulai kedalaman 0 sampai dasar bisa di ketahui dengan satuan nilai mg/L dan akan di ketahui nilai kadar oksigen dalam airnya

Pengambilan Data Di Lapangan

Studi khusus yang saya ambil berada di Jl. Gunung raung kecamatan sumber wringin kab. Bondowoso, dengan lebar saluran 100 cm, penyempitan yang 50 cm dan lebar bervariasi.. Untuk hasil perhitungan dan data data dapat di lihat pada tabel dan gambar berikut :

- B saluran = 100 cm
- B penyempitan = 50 cm
- P penyempitan = 80 cm
- Q = 13 ltr/detik (0.013 m³/detik)

Tabel 4.29. Tinggi Muka Air pada Penyempitan di lapangan

Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (m)		
	1	2	3
Penyempitan 0,5 m = lebar saluran 1 m			
1,30E-02	0,2	0,21	0,2

Sumber: Hasil Penelitian 2020

$$F_r = \frac{1,30E-02}{0,2 \sqrt{9,81 \times 0,2}} \rightarrow \frac{1,30E-02}{0,2 \times 7,003576} \rightarrow 0,093281 < 1 \text{ SUBKRITIS}$$

$E = \frac{1,30E-02}{2 \times 9,81 \times 0,27} + 0,18 \rightarrow \frac{0,000169}{1,430298} + 0,18 \rightarrow 0,18011816$
$E = \frac{1,30E-02}{2 \times 9,81 \times 0,2} + 0,2 \rightarrow \frac{0,000169}{0,7848} + 0,2 \rightarrow 0,20021534$
$\Delta E = 0,02009718$

Dari perhitungan Nilai Froude dan energi Spesifik dapat di ketahui bahwa :

1. Jenis aliran yang terjadi adalah subkritis (nilai Froude <1).
2. ΔE spesifik mengalami kenaikan di penyempitan di tiap titik.

Tabel 4.31. Perubahan Nilai ΔE Di Lapangan

Debit (m ³ /detik)	Jarak Titik Tinjau		
	1	2	3
Penyempitan 0,5 cm lebar saluran 1 m			
1,30E-02	0,1801	0,1801	0,1801
1,30E-02	0,2002	0,2102	0,2002

Sumber: Hasil Penelitian 2020



Gambar 4.16. Grafik Perubahan Nilai Nilai ΔE Di lihat dari titik tinjaunya

V. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dalam kajian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Di sini diperoleh data karakteristik Aliran di berbagai penyempitan yaitu pada penyempitan 6 cm yaitu kategori **subkritis**. Pada penyempitan 8 cm di sini debit mulai agak besar dan untuk karakteristik alirannya masi bervariasi, tetapi masi stabil dan masi dalam kategori **subkritis**. Pada saat di penyempitan 10 cm di sini muka air sangat tinggi di karenakan debit dan penyempitan yang terjadi

sangat berpengaruh pada aliran air. Dalam fase ini muka air sangat tinggi sehingga karakteristik alirannya menjadi **superkritis**.

2. Dalam Perhitungan nilai froude disini saya menggunakan rumus ($F = \frac{Q}{An\sqrt{g(A/bn)}}$). Nilai froude yang di peroleh dari penelitian saya pada setiap penyempitan yaitu pada penyempitan 6 cm nilai yang di peroleh masi di bawah satu atau < 1 . maka dari itu hasil nilai froude pada penyempitan 6 cm karakteristik alirannya masi tergolong **subkritis**. Pada penyempitan selanjutnya yaitu penyempitan 8 cm nilai froude nya mulai mengalami kenaikan tinggi muka air pada debit $3,73E-02$ sampai $5,49E-02$, tetapi kenaikan tinggi muka air terjadi hanya pada awal segmen saja yaitu segmen 0, 1 dan 2, tetapi pada keseluruhan tinggi muka air stabil dan masih dalam kategori **subkritis**. Pada penyempitan selanjutnya yaitu penyempitan 10 cm, nilai froude mengalami kenaikan sangat signifikan, karena pengaruh penyempitan yang cukup lebar dan menghambat aliran air maka tinggi muka air naik. pada debit $3,73E-02$ sampai $5,49E-02$ di semua segmen muka air mengalami kenaikan dan menyebabkan alirannya menjadi **superkritis**. karena pengaruh penyempitan yang cukup lebar dan menghambat aliran air maka tinggi muka air naik, alirannya menjadi **superkritis**.
3. Dalam menganalisa energi spesifik saya menggunakan rumus energi spesifik $E = \frac{Q^2}{2gA^2} H$, hasil dari energi spesifik dalam setiap penyempitan yaitu pada penyempitan 6 cm, 8 cm dan 10 cm pada debit $1,57E-02$ nilai energi spesifik lebih dari nol ($\Delta E > 0$) menunjukkan penurunan energi spesifik. Begitu pula pada debit $3,73E-02$ sampai $4,24E-02$ di penyempitan 6 cm, 8 cm dan 10 cm, energi spesifik menunjukkan nilai lebih dari nol ($\Delta E > 0$) menunjukkan energi spesifik turun. Tetapi pada debit $5,49E-02$ pada penyempitan 6 cm, 8 cm dan 10 cm energi spesifik menunjukkan nilai kurang dari nol ($\Delta E < 0$) yaitu menunjukkan energi spesifik dalam aliran tersebut naik.

Saran

Berdasarkan pada Tugas Akhir “Perencanaan Ulang Saluran Terbuka Di Sebabkan Oleh Penyempitan Bersudut Pada Saluran Yang Mengakibatkan Kehilangan Energi” ini,

penyusun ingin memberikan beberapa saran terkait dengan masalah tersebut. Adapun saran yang dapat penulis berikan antara lain:

1. Untuk penyempurnaan dan pengembangan penelitian selanjutnya, dan juga agar bermanfaat dan lebih efisien di lapangan lebih memperhitungkan debit air pada saat besar dan agar mengetahui seberapa ukuran, dimensi saluran dan memenuhi kapasitas air agar tidak meluap.
2. Mampu menyelesaikan model aplikasi dengan tepat sesuai metode di laboratorium yang nantinya di gunakan pada prototip (lapangan).

DAFTAR PUSTAKA

- Setiohadi, B. A. 2016. *Jurnal Desain Saluran Terbuka Akibat Kehilangan Energi Spesifik Yang Disebabkan Penyempitan Pada Saluran. Journal Of undergraduate thesis*, Universitas Muhammadiyah, Jember
- Raju, Rangga. 1999. *Aliran melalui saluran terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Kodoatie, R. J. 2002. *Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Yogyakarta: Andi.
- Santoso, Budi. 1988. *Hidrolika II*. Yogyakarta: Biro penerbit UGM.
- Suteja, Budi. 1998. *Aliran melalui penyempitan saluran*. Yogyakarta: Penerbit UGM.
- Tracey, and Carter. 1961. *Resistance Coeffisients and Velocity Distribution-Smooth Rectangular Channel*. U.S. Geological Survey
- Anggrahini., Ir.,M.,Sc. *Hidrolika*, Blambangan Offset: ITS
- Chow Ven Te. 1989. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydrolics) Terjemahan*. Erlangga: Jakarta.
- Kodoatie Robert.,J. Edisi Revisi 2009. *Hidrolika Terapan*, Andi Offset: Yogyakarta.
- Triatmodjo. Prof.Dr.Ir.,Bambang.,CES.,DEA. Revisi 2008. *Hidraulika II*, Beta Offset: Yogyakarta.
- Ir. Djoko Luknanto M.Sc., Ph.D, 2015. *Hidroulika Terapan (Energi di Saluran Terbuka)*, Biro penerbit UGM, Yogyakarta.