

DESAIN SALURAN TERBUKA AKIBAT KEHILANGAN ENERGI SPESIFIK YANG DISEBABKAN PENYEMPITAN PADA SALURAN

Bagus A Setiohadi

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email : bagussetiohadi25@gmail.com

Abstrack

Open channel configuration is found in man-made water conduits such as irrigation channels and trenches as well as naturally occurring water conduits such as rivers. He narrowing of open channel conduits due to various reason leads to the transformation of the cross-sectional area of the channel from prismatic to non-prismatic, causing a flow pattern which is more difficult to analyze than that in a prismatic section.

In order to observe the effect of reduces cross-section on the specific energy of a flow, a physical model of an open conduits with reduces crosssection has been made in the laboratory of Universitas Muhammadiyah Jember. The channel was 15 cm wide. In one experiment, the width was reduced to 9 cm at a point along the channel and water was passed at adischarge rate of $5,44 \times 10^{-2}$ m³/sec. measurements were carried out on the height of the flow at the reduced section as well as the rate of discharge, from which the Froude number was determined to identify the flow type. From the same measurement the specific energy parameter was also determined. Measurements were also made for flow at discharge rate of $1,59 \times 10^{-2}$ m³/sec, $3,85 \times 10^{-2}$ and $4,34 \times 10^{-2}$ m³/sec, respectively. The same experiment were conducted with reduce cross-section of 5 cm and 3 cm.

Keywords : Specific Energy , Open Channel

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

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

Sedangkan Energi Spesifik, konsep dari Energi Spesifik sudah di kenalkan oleh **Bakhmetef** pada tahun 1912. Bahwa Energi Spesifik adalah tinggi tenaga pada sembarang tampang di ukur dari dasar saluran, atau tenaga pada setiap berat satuan air pada sembarang tampang di ukur dari dasar saluran. Dalam simematis dapat di tulis 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). Dengan persamaan di atas kecepatan laju air dan tinggi kedalam air sangat mempengaruhi hasil dari energy spesifik. Ketika tinggi kedalaman air besar maka energy yang di hasilkan cukup besar dan sebaliknya.

Kehilangan energy sendiri berhubungan dengan $Q = v \times A$ maka rumus energy spesifik menjadi $E = (Q^2/2g A^2) + h$, dengan E= energi Spesifik (cm), h= kedalaman air (cm), A= luas penampang (cm^2), g= percepatan gravitasi (cm/detik^2), Q = debit (cm^3/detik). Dalam hal ini kami akan melakukan tinjauan pada saluran terbuka khususnya dalam hal kehilangan energi spesifik dengan studi kasus penyempitan pada saluran terbuka. Dari hasil penelitian sebelumnya yaitu salah satu universitas di Indonesia Universitas Kristen Imanuel yang menghasilkan berapa selisih kehilangan energy pada awal penyempitan dan sesudah penyempitan. Perbedaan energy sebelum dan pada penyempitan biasa di sebut kehilangan energy spesifik, dengan rumus $\Delta E = E_1 - E_2$, kami mencoba menyempurnakan hasilnya dengan desain saluran terbuka akibat kehilangan energy spesifik yang di akibatkan oleh penyempitan saluran.

Karena dampak dari penyempitan saluran selain dari penampang saluran yang tidak

prismatis misalnya akibat sambungan dua penampang yang berbeda, adanya bangunan lain seperti pilar jembatan, atau penyebab lain yang mengubah penampang dari saluran. Sehingga analisis aliran pada saluran *non-prismatis* menuntut ketelitian akibat adanya perubahan karakteristik aliran air, yang akan menyebabkan ketinggian, kecepatan dan energi pada aliran berubah.

Rumusan Masalah

Beberapa masalah yang diperhatikan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik aliran yang terjadi akibat berbagai variasi penyempitan ?
2. Bagaimana perubahan energy spesifik yang di sebabkan oleh berbagai variasi penyempitan ?
3. Bagaimana aplikasi perubahan energy spesifik dalam aliran di saluran irigasi ?

Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Alat debit Thomson (*v-notch*) sesuai dengan oleh ISO (1980), ASTM (1993), dan USBR (1997).
2. Penyempitan yang di pakai 6 variasi yaitu : 9 cm, 5 cm, 3 cm, 9 cm (60°), 5 cm (45°), 3 cm (30°).
3. Saluran terbuka, alat dari mika / kaca dengan dinding halus dengan bentuk persegi dan trapezium dengan dasar saluran halus di Laboraturium Hidrolika Universitas Muhammadiyah Jember.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tersebut adalah :

1. Mengetahui karakteristik aliran akibat berbagai macam variasi penyempitan.
2. Mendapatkan perubahan nilai ΔE yang terjadi akibat variasi penyempitan.
3. Mendapatkan model aplikasi dari perubahan energy spesifik pada saluran irigasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Landasan Teori

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

dibumi, melalui dari anak selokan kecil di pegunungan, sungai kecil dan sungai besar sampai ke muara sungai. Sifat-sifat hidrolik saluran alam biasanya sangat tidak menentu. Dalam beberapa hal dapat dibuat anggapan pendekatan yang cukup sesuai dengan pengamatan sesungguhnya. Sehingga persyaratan aliran pada saluran ini dapat diterima untuk penyelesaian analisa hidrolika teoritis. Saluran buatan merupakan saluran yang dibuat manusia untuk tujuan dan kepentingan tertentu. Saluran buatan memiliki penampang teratur dan lebih mudah dalam melakukan analisa dibanding saluran alami.

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. Pada aliran subkritis, adanya penyempitan saluran akan menyebabkan terjadinya efek pembendungan yang meluas ke arah hulu, sedangkan pada aliran superkritis hanya akan menimbulkan perubahan ketinggian permukaan air didekat penyempitan dan tidak meluas ke arah hulu. Bila kedalaman air di penyempitan lebih besar dibandingkan kedalaman kritis, maka perluasan genangan air ke arah hulu hanya terjadi pada jarak yang dekat, dan dibagian akhir efek pembendungan itu akan terjadi suatu loncatan hidrolik. Kedalaman kritis dapat dirumuskan sebagai berikut (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 gravitasi (per satuan volume) dikenal sebagai bilangan

Froude dan dapat dirumuskan sebagai berikut (Rangga Raju, 1981) :

$$F = V/\sqrt{gL} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

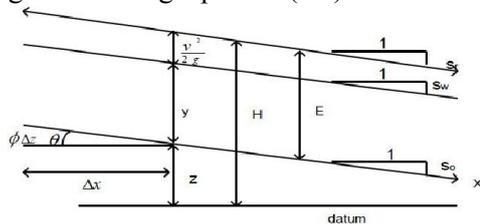
- F = bilangan Froude
- V = kecepatan rata-rata aliran (cm/det)
- g = pecepatan grafitasi (cm²/det)
- L = panjang karakteristk (cm)

Energi Spesifik (*Specific Energy*)

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

$$E = \frac{V}{2g} + h \dots\dots\dots(2.3)$$

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 garis 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 :

$$H = z + h \text{ Cos } \phi + \alpha \frac{V}{2g} \dots\dots\dots(2.4)$$

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

$$E = \frac{V}{2g} + h \dots\dots\dots(2.5)$$

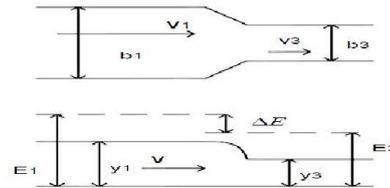
Berhubung $Q = v \times A$, maka rumus energi spesifik menjadi :

$$E = \frac{Q^2}{2gA^2} + h \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

- H= tinggi energi (cm),
- z = tinggi suatu titik terhadap bidang referensi (cm)
- α = koefisien energy (pada perhitungan selanjutnya $\alpha = 1$)

- E = energy spesifik (cm)
- h = kedalaman aliran (cm)
- v = kecepatan aliran rata-rata (cm/detik)
- A = luas penampang (cm²)
- g = percepatan grafitasi (cm/detik²)
- Q = debit (cm³/det). Perbedaan energi sebelum penyempitan dan energy setelah penyempitan dikenal sebagai kehilangan energi, yaitu $\Delta E = E_1 - E_3$



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

$$\Delta E = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} - y_3 - \frac{V_3^2}{2g} \dots\dots\dots(2.7)$$

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 (2.7) menjadi ;

$$\Delta E = y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - y_3 - \frac{Q^2}{2gA_3^2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:

- A_1 = luas penampang titik 1 (cm²)
- A_3 = luas penampang titik 3 (cm²)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan Data Sekunder

Proses pencarian data yaitu dengan mencari berbagai sumber data yang diperlukan untuk melakukan penelitian. Dimana data tersebut berupa sumber referensi yang di peroleh dari internet serta data dari Dinas PU Pengairan Lumajang. Data tersebut diantaranya adalah sumber referensi penelitian yang sudah ada sebelumnya, existing saluran, data debit yang di sesuaikan dengan kondisi saluran yang ada.

Pembuatan 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 trapezium. Di tengah saluran bentuk persegi juga ditempatkan pintu air. Penyempitan saluran dibuat dengan menebalkan dinding saluran sepanjang 50 cm sehingga tercapai lebar 12 cm, 9 cm, dan 5 cm.

Desain Thomson (V- Notch)					
B	15	cm	h	6	cm
H _o	24.5	cm	P	0.4	cm
tf	0.02	cm	B	15	cm
h/B ≤	0.4		6		0.4
h/P <	2.4		14.4		0.42
					ok

Gambar 4.1, Tabel Desain V-Notch

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 9 cm, 5 cm, 3 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 bilangan froude

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

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

Dengan:

F = Bilangan froud

v = Kecepatan rata (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (m²/detik)

D = Kedalaman hidroulik (m)

Perhitungan energi spesifik

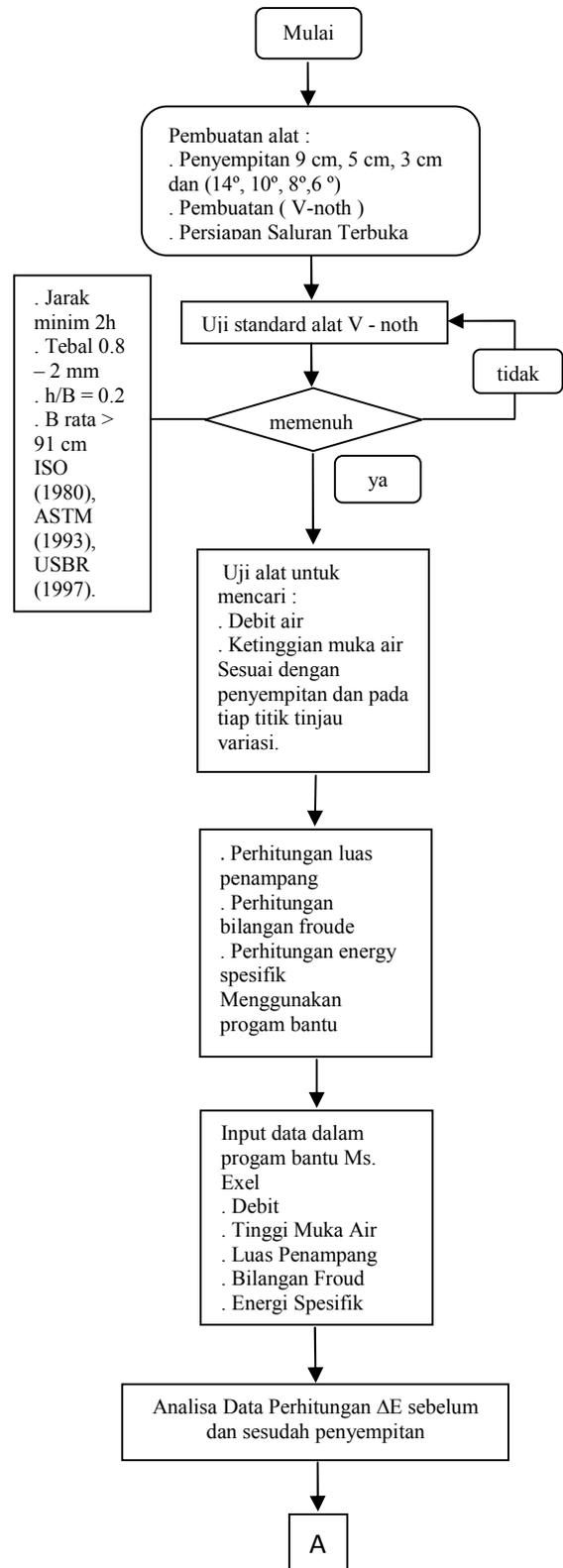
Dari hasil pengukuran ketinggian air yang terjadi pada penyempitan, selanjutnya energi spesifik dapat dihitung dengan persamaan :

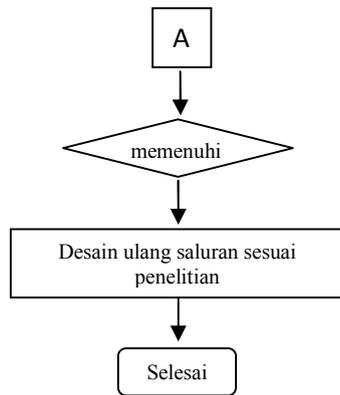
$$E = \frac{Q^2}{2gA^2} + h$$

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

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

Kerangka Penelitian





Gambar. Diagram Alur (flow chart)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN Kalibrasi Alat Ukur Debit V-Nocth

C merupakan koefisien alat ukur debit V-Nocth, Koefisien debit V-Notch di lapangan dapat dilihat pada Tabel 5.1 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 :

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,18901}{11,9000} = 0,015883 \text{ m}^3/\text{detik} = 1,59 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$C = \frac{Q}{\frac{5}{H^2}} = \frac{1,59 \times 10^{-2}}{0,023^2} = 197,980$$

No	Hv (cm)	Hv (m)	H ^{3/2}	Waktu (detik)						Waktu	Debit (Q) m ³ /detik	Koefisien
				t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆			
1	2,3	0,023	8,02268E-05	12,03	12,15	11,45	11,58	12,08	12,11	11,9000	0,015883	197,980
2	3,5	0,035	0,000229177	8,36	8,15	7,45	7,39	7,26	8,18	7,7983	0,024237	105,759
3	5	0,05	0,00059017	6,36	6,12	6,02	5,45	5,57	6,18	5,9500	0,031767	56,826
4	5,5	0,055	0,000709425	5,15	5,07	5,13	4,46	4,58	5,05	4,9067	0,038571	54,299
5	6	0,06	0,00081816	4,45	4,36	4,48	4,26	4,32	4,29	4,3600	0,043357	49,161
6	6,5	0,065	0,001077168	4,08	4,15	4,28	4,19	4,13	4,26	4,1817	0,045200	41,962
7	7,5	0,075	0,00154047	3,51	3,46	3,38	3,47	3,58	3,43	3,4717	0,054444	35,342

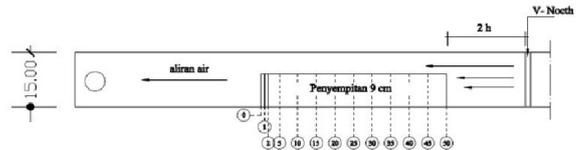
Tabel 4.1, Perhitungan Variasi Debit Aliran Berdasarkan Tinggi Muka V- Nocth

Ketinggian Muka Air

Hasil pengukuran ketinggian air (cm) dapat di lihat pada Tabel 5.2. Dan angka 2,3, 3,5, 5, 5,5, 6, 6,5, dan 7,5 menunjukkan tinggi muka air pada alat ukur debit V- Nocth, satuan yang di dgunakan dalam grafik dibawah adalah centi meter. 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 1,59 x 10⁻² m³/detik, 3,8 cm pada debit 3,85 x 10⁻² m³/detik, 4,6 cm pada debit 4,34 x 10⁻² m³/detik, dan 6,8 cm pada debit 5,44 x 10⁻² m³/detik. Ketinggian muka air untuk debit 5,44 x 10⁻² m³/detik mengalami kenaikan pada saat masuk penyempitan, dan mempunyai efek

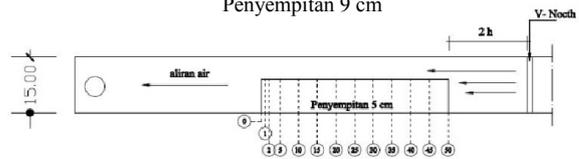
pembendungan yang disebabkan adanya perubahan penampang secara mendadak dan debit yang sangat besar. Pada penyempitan 5 cm dan 3 cm tinggi muka air mengalami penurunan secara stabil dan signifikan karena penyempitan yang terjadi relatif kecil. Dari ketinggian muka air dapat di buat grafik parubahan tinggi muka air di tiap titik tinjau pada tiap penyempitan.



Gambar 4.1 Denah Penyempitan 9 cm di Laboratorium

Hv (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (cm)													
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Penyempitan 9 cm = lebar saluran 6 cm															
2,3	1,59E-02	2	1,8	1,6	1,7	1,8	2	2	2	2	2	1,8	1,8	1,6	
5	3,85E-02	4,8	5,1	4,3	4,4	4,5	4,4	4,2	4,2	4,2	4,2	3,8	3,6	3,4	
6	4,34E-02	7,3	5,5	5,4	3,2	3,8	3,2	3	3,6	4,5	4,8	4	4,2	4	
7,5	5,44E-02	9,8	11,2	7,8	7,5	6,8	6,5	6,7	6,3	5,6	5,6	4,8	4,3	4,3	

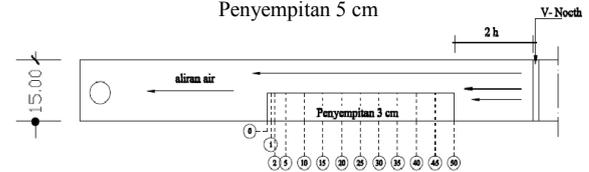
Tabel 4.2 Ketinggian Muka Air Tiap Titik Tinjau Pada Penyempitan 9 cm



Gambar 4.2 Denah Penyempitan 5 cm di Laboratorium

Hv (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (cm)													
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Penyempitan 5 cm = lebar saluran 10 cm															
2,3	1,59E-02	1,4	1,8	2,2	2,3	1,5	1,6	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
5	3,85E-02	3,1	4,8	3,4	3,3	2,5	2,3	2,3	2,4	2,7	2,6	2,3	2,2	2,2	
6	4,34E-02	4	5,7	4,8	4,2	3,4	3,1	3,2	3,4	3,5	3,8	3,7	3,4		
7,5	5,44E-02	7	8,7	5,1	5,4	4,2	4,4	4	4,5	4	4,2	4,4	4	3,5	

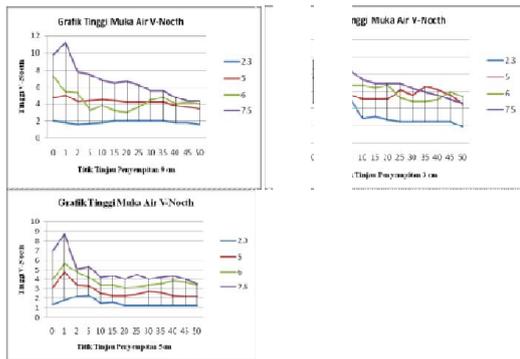
Tabel 4.3 Ketinggian Muka Air Tiap Titik Tinjau Pada Penyempitan 5 cm



Gambar 4.3 Denah Penyempitan 3 cm di Laboratorium

Hv (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (cm)													
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Penyempitan 3 cm = lebar saluran 12 cm															
2,3	1,59E-02	2,3	2,8	2,7	2,5	1,4	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	
5	3,85E-02	3,8	3,5	3,1	2,8	2,5	2,5	2,5	3,1	2,8	3,3	3,1	2,8	2,2	
6	4,34E-02	4,3	4,2	4,2	3,4	3,4	3,2	3,4	2,6	2,4	2,4	2,5	3	2,7	
7,5	5,44E-02	4,8	5	4,8	4,2	3,7	3,5	3,5	3,5	3,2	3	2,8	2,5	2,3	

Tabel 4.4 Ketinggian Muka Air Tiap Titik Tinjau Pada Penyempitan 3 cm



Grafik 4.1, Tinggi Muka Air

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 5,5 dengan satuan cm^2 atau m^2 .

Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (cm)												
	0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 9 cm = lebar saluran 6 cm													
1.59E-02	12	10.8	9.6	10.2	10.8	12	12	12	12	12	10.8	10.8	9.6
3.18E-02	28.8	30.6	25.8	26.4	27	26.4	25.2	25.2	25.2	22.8	21.6	20.4	
4.34E-02	43.8	33	32.4	19.2	22.8	19.2	18	21.6	27	28.8	24	25.2	24
5.44E-02	58.8	67.2	46.8	45	40.8	39	40.2	37.8	33.6	33.6	28.8	25.8	25.8
Penyempitan 5 cm = lebar saluran 10 cm													
1.59E-02	14	18	22	23	15	16	13	13	13	13	13	13	13
3.18E-02	31	48	34	33	25	23	23	24	27	26	23	22	22
4.34E-02	40	57	48	42	34	34	31	32	34	35	38	37	34
5.44E-02	70	87	51	54	42	44	40	45	40	42	44	40	35
Penyempitan 3 cm = lebar saluran 12 cm													
1.59E-02	27.6	33.6	32.4	30	16.8	18	15.6	14.4	14.4	14.4	14.4	10.8	10.8
3.18E-02	45.6	42	37.2	33.6	30	30	30	37.2	33.6	39.6	37.2	33.6	26.4
4.34E-02	51.6	50.4	50.4	40.8	40.8	38.4	40.8	31.2	28.8	28.8	30	36	32.4
5.44E-02	57.6	60	57.6	50.4	44.4	42	42	42	38.4	36	33.6	30	27.6

Tabel 4,5 Perhitungan Luas Penampang (cm²)

Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (m ²)												
	0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 9 cm = lebar saluran 6 cm													
0.00120	0.00108	0.00096	0.00102	0.00108	0.00120	0.00120	0.00120	0.00120	0.00108	0.00108	0.00096		
0.0029	0.00306	0.00258	0.0026	0.0027	0.00264	0.00252	0.00252	0.00252	0.00228	0.00216	0.00204		
0.0044	0.00330	0.00324	0.00192	0.00192	0.00180	0.00216	0.00270	0.00288	0.00240	0.00252	0.00240		
0.0059	0.00672	0.00468	0.0045	0.00408	0.00390	0.00402	0.00378	0.00336	0.00288	0.00258	0.00258		
Penyempitan 5 cm = lebar saluran 10 cm													
0.00140	0.00180	0.00220	0.00230	0.00150	0.00160	0.00130	0.00130	0.00130	0.00130	0.00130	0.00130	0.00130	
0.00310	0.00480	0.00340	0.00330	0.00250	0.00230	0.00230	0.00230	0.00270	0.00260	0.00230	0.00220	0.00220	
0.00400	0.00570	0.00480	0.00420	0.00340	0.00340	0.00310	0.00320	0.00340	0.00380	0.00370	0.00340		
0.00700	0.00870	0.00510	0.00540	0.00420	0.00440	0.00400	0.00400	0.00420	0.00440	0.00400	0.00350		
Penyempitan 3 cm = lebar saluran 12 cm													
0.0028	0.00336	0.00324	0.00300	0.00168	0.00180	0.00156	0.00144	0.00144	0.00144	0.00144	0.00108	0.00108	
0.0046	0.00420	0.00372	0.0034	0.00300	0.00300	0.00300	0.00372	0.00336	0.00396	0.00372	0.00336	0.00264	
0.0052	0.00504	0.00504	0.0041	0.00408	0.00384	0.00408	0.00312	0.00288	0.00300	0.00360	0.00324		
0.0058	0.00600	0.00576	0.005	0.00444	0.00420	0.00420	0.00420	0.00384	0.00360	0.00336	0.00300	0.00276	

Tabel 4,6 Perhitungan Luas Penampang (m²)

Luas penampang tanpa penyempitan pada lebar saluran 15 cm pada debit 1,59 x 10⁻² m³/detik, 3,85 x 10⁻² m³/detik, 4,34 x 10⁻² m³/detik, dan 5,44 x 10⁻² m³/detik berturut – turut adalah 24 cm², 57 cm², 67 cm² dan 102 cm²

Perhitungan Angka Froude

Bilangan Froud dihitung dengan persamaan $v = Q \times A$, dan dengan menggunakan A sebagai perkalian kedalaman hidraulis (h) dengan lebar saluran pada

penyempitan dan tanpa penyempitan (b), selanjutnya dapat dirumuskan :

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

dengan ketentuan Nilai Froude :

Nilai Froude = 1 di nyatakan **Kritis**

Nilai Froude <1 di nyatakan **Subkritis**

Nilai Froude >1 dinyatakan **Superkritis**

Bilangan Froude pada saluran tanpa penyempitan 15 cm = 0.15 m, untuk debit 5,44 x 10⁻² m³/detik, adalah :

$$F = \frac{5.44E-02}{0.0102 \sqrt{9.81 \times 0.0102}} \rightarrow \frac{0.054444016}{0.0102 \times 12.011024} \rightarrow 0.44439579 < 1 \text{ SUBKRITIS}$$

Bilangan Froude untuk debit 5,44 x 10⁻² m³/detik dan 3,85 x 10⁻² m³/detik, di titik 0 pada penyempitan 9 cm dengan lebar saluran 6 cm adalah :

$$F = \frac{1.59E-02}{0.0012 \sqrt{9.81 \times 0.0012}} \rightarrow \frac{0.015883317}{0.0012 \times 22.147235} \rightarrow 0.5976411 < 1 \text{ SUBKRITIS}$$

$$F = \frac{3.85E-02}{0.00288 \sqrt{9.81 \times 0.00288}} \rightarrow \frac{0.03852136}{0.00288 \times 14.295978} \rightarrow 0.93561084 < 1 \text{ SUBKRITIS}$$

Dari ketiga perhitungan di atas di ketahui bahwa aliran yang terjadi adalah aliran subkritis di karenakan nilai Froude nya kuran dari <1. Untuk perhitungan dan perubahan nilai Froude dapat di lihat pada tabel 5.7, 5.8, dan 5.9 serta grafik perubahan nilai Froude pada gambar Grafik 5.4, 5.5, dan 5.6.

H ₀ (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (cm)												
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 9 cm = lebar saluran 6 cm														
23	1.59E-02	0.5976411	0.6294694	0.6680307	0.6492227	0.6294694	0.6294694	0.5976411	0.5976411	0.5976411	0.6294694	0.6294694	0.6680307	
5	3.85E-02	0.93561084	0.9076734	0.8651129	0.9721365	0.9462472	0.9462472	1.0002106	1.0002106	1.0002106	0.93561084	0.93561084	1.11017132	
6	4.34E-02	0.8576675	0.9836368	0.91270235	1.2095807	1.0837974	1.2095807	1.3318496	1.2158071	1.0874594	1.0874594	1.1250186	1.1250186	
7.5	5.44E-02	0.9254469	0.8656702	0.8073088	1.0879397	1.2110	1.2110	1.1192497	1.1542440	1.2242977	1.2242977	1.2971061	1.2971061	

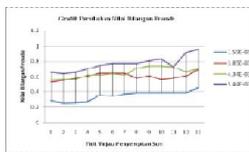
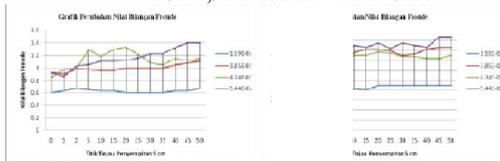
Tabel 4,7 Perubahan Nilai Froude

H ₀ (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjauan (cm)												
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 5 cm = lebar saluran 10 cm														
23	1.59E-02	0.42059065	0.3770142	0.34189706	0.33438	0.4140579	0.41009094	0.44470953	0.44470953	0.44470953	0.44470953	0.44470953	0.44470953	
5	3.85E-02	0.69835193	0.5813665	0.6670	0.67703	0.7786224	0.81096702	0.81096702	0.7989212	0.79484867	0.76274688	0.81096702	0.82919928	0.82919928
6	4.34E-02	0.60204954	0.5797551	0.6317519	0.67537	0.75063311	0.75063311	0.78611545	0.7737349	0.75962308	0.71955385	0.71955385	0.73063311	
7.5	5.44E-02	0.65700	0.59932667	0.70971800	0.74803	0.84819381	0.82684468	0.86913102	0.81925234	0.86913102	0.84801930	0.82684468	0.929144	0.929144

Tabel 4,8 Perubahan Nilai Froude

H _v (cm)	Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjau (cm)												
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 3 cm = lebar saluran 12 cm														
2,3	1.59E-02	0.270616	0.2524944	0.25710378	0.26727	0.35713087	0.34504025	0.37004120	0.38577567	0.38777567	0.38577567	0.3858	0.38577567	0.44545538
5	3.85E-02	0.6257679	0.54703761	0.50211	0.61250	0.6402102	0.6402102	0.6402102	0.58210995	0.61250	0.58419456	0.58210995	0.61250107	0.690944
6	4.34E-02	0.55822654	0.56200953	0.56200953	0.62553	0.6255276	0.64477989	0.6255276	0.71531017	0.74452676	0.74452676	0.72949426	0.66392498	0.70194656
7,5	5.44E-02	0.66017	0.64701261	0.66117098	0.70602	0.75366687	0.77429417	0.77429417	0.77429417	0.80976577	0.82832349	0.72949426	0.81614538	0.95314759

Tabel 4.9 Perubahan Nilai Froude



Grafik 4.2, Perubahan Nilai Froude

Perhitungan Energi Spesifik

Perhitungan energi spesifik diselesaikan untuk masing-masing penyempitan saluran dan debit yang terjadi dan hasilnya dirangkum dalam Tabel 4.9.

Untuk penyempitan 9, 5, dan 3 cm dengan debit $5,44 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$ dan $3,85 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 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 $1,59 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$ diketahui bahwa pada awal penyempitan 9 cm dan 5 cm terjadi kenaikan energi spesifik sedang pada penyempitan 3 cm energi spesifik turun yang dikarenakan aliran mengalami penurunan.

Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjau (cm)												
	0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 9 cm = lebar saluran 6 cm													
1.59E-02	8.9494	11.0419	13.9681	13.9681	11.0419	8.9494	8.9494	8.9494	8.9494	11.0419	11.0419	13.9681	
3.85E-02	9.1664	8.1282	11.4063	10.8957	10.4197	10.8957	11.9518	11.9518	11.9518	14.5870	16.2465	18.2107	
4.34E-02	6.0597	8.8508	9.1566	26.0158	18.4642	26.0158	29.5937	20.5664	13.1844	11.5963	16.6496	15.1255	16.6496
5.44E-02	4.4676	3.4575	6.9728	7.556	9.1437	9.9079	9.4157	10.6365	13.4381	13.4381	22.7397	22.7397	22.7397

Tabel 4.10 Perubahan ΔE pada Tiap Titik Tinjau Penyempitan 9 cm

Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjau (cm)												
	0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 5 cm = lebar saluran 10 cm													
1.59E-02	6.5744	3.8866	2.6787	2.4577	5.7289	5.0388	7.6215	7.6215	7.6215	7.6215	11.0399	7.6215	
3.85E-02	7.9011	3.3506	6.5765	6.9701	12.1261	10.8747	14.3201	13.1545	10.4017	14.3201	14.3201	15.6484	15.6484
4.34E-02	6.0267	3.0052	4.2054	5.4721	8.3200	8.3200	9.9984	9.3862	8.3200	6.6714	6.6714	15.1255	8.3200
5.44E-02	3.1532	2.0031	5.2350	5.2350	8.6065	7.8476	9.4824	7.5056	9.4464	8.6065	7.8476	9.4824	12.3679

Tabel 4.11 Perubahan ΔE pada Tiap Titik Tinjau Penyempitan 5 cm

Debit (m ³ /detik)	Jarak titik tinjau (cm)												
	0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Penyempitan 3 cm = lebar saluran 12 cm													
1.59E-02	1.7110	1.1670	1.2519	1.4537	4.5698	3.9856	5.2967	6.2130	6.2130	6.2130	7.6215	11.0329	
3.85E-02	3.6753	4.3225	5.4964	6.7272	8.4205	8.4205	8.4205	5.4964	6.7272	5.4964	15.6484	10.8757	
4.34E-02	6.0267	3.8129	3.8129	5.7082	5.7082	6.5279	5.7082	8.8660	11.5723	10.6679	10.6679	7.4289	8.3200
5.44E-02	4.6016	4.2466	4.5956	10.9476	7.2006	8.5995	8.5995	8.5995	10.2776	11.6873	13.4101	16.8114	10.8757

Tabel 4.12 Perubahan ΔE pada Tiap Titik Tinjau Penyempitan 5 cm

Pada hasil di atas nampak bahwa energy spesifik naik setelah melewati penyempitan, sebesar $\Delta E = 1,5201148 - 22,739657 = -21,2195 \text{ m}$ yang disebabkan aliran pada debit di atas setelah masuk penyempitan 9 cm menjadi aliran *superkritis*.

Pada debit $5.44E-02$ energi spesifik pada saluran sebelum penyempitan dan saat penyempitan 9 cm di titik 45 :

$$E = \frac{5.44E-02^2}{2 \times 9.81 \times 0.0102^2} = 0.68 \rightarrow \frac{0.002964}{0.002041} \times 0.68 \rightarrow 1.5201148$$

$$E = \frac{5.44E-02^2}{2 \times 9.81 \times 0.00258^2} = 0.43 \rightarrow \frac{0.002964}{0.000131} \times 0.43 \rightarrow 22.739657$$

$$\Delta E = -21.2195 \rightarrow$$

Pada debit $4.34E-02$ energi spesifik pada saluran sebelum penyempitan dan saat penyempitan 9 cm di titik 45 :

$$E = \frac{4.34E-02^2}{2 \times 9.81 \times 0.0069^2} = 0.46 \rightarrow \frac{0.001879}{0.000934} \times 0.46 \rightarrow 2.057899$$

$$E = \frac{4.34E-02^2}{2 \times 9.81 \times 0.00252^2} = 0.42 \rightarrow \frac{0.001879}{0.000125} \times 0.42 \rightarrow 15.12554$$

$$\Delta E = -13.0676 \rightarrow$$

Pada hasil di atas nampak bahwa energy spesifik naik setelah melewati penyempitan, sebesar $\Delta E = 1,057899 - 15,12554 = -13,0676 \text{ m}$ yang disebabkan aliran pada debit di atas setelah masuk penyempitan 9 cm menjadi aliran *superkritis*.

Dari hasil perhitungan ΔE di ketahui bahwa kenaikan terbesar energy spesifik terjadi pada aliran dengan penyempitan 9 cm pada debit $4,34 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$. Perhitungan naik dan turun nya nilai Froude dan ΔE dapat di lihat pada tabel 5.11 dan 5.12 berikut.

Debit	Δ Froude	Naik Turun
Debit	1.59E-02	
9	0.624819201	Turun
5	0.416246578	
3	0.346372324	
Debit	3.85E-02	
9	0.998922979	Naik
5	0.752169403	
3	0.604404471	
Debit	4.34E-02	
9	1.131777681	Turun
5	0.716110729	
3	0.654225735	
Debit	5.44E-02	
9	1.14975774	Turun
5	0.810291239	
3	0.769212381	

Tabel 4.13, Analisa Perubahan Nilai Δ Froude Sebelum dan Sesudah Penyempitan

Penyempitan	ΔE	Naik Turun
Debit	1.59E-02	
9	1.945847049	Naik
5	2.016873419	
3	-8.98957322	
Debit	3.85E-02	
9	1.745648661	Naik
5	1.946812478	
3	-8.865817466	
Debit	4.34E-02	
9	1.409549144	Naik
5	1.522963947	
3	-7.483711596	
Debit	5.44E-02	
9	0.592924126	Naik
5	0.848529105	
3	-18.78064426	

Tabel 4.14, Analisa Perubahan Nilai ΔE Sebelum dan Sesudah Penyempitan

Dari data analisa tabel Perubahan nilai ΔE dan Δ Froude sebelum dan sesudah penyempitan di ketahui bahwa :

- 1- Sebelum dan sesudah penyempitan cenderung bilangan Δ Froude stabil.
- 2- Sebelum dan sesudah penyempitan cenderung ΔE naik dikarenakan aliran berubah menjadi superkritis setelah masuk penyempitan.

Dari data analisa diatas dapat juga menjadi perhitungan analisa yang menentukan lebar dan ketentuan penyempitan pada saluran irigasi.

Debit	No	B saluran	Variasi Penyempitan	Ratio %	Δ Froude
1.59E-02	1	15	9	0.6	0.62
	2	15	5	0.3	0.42
	3	15	3	0.2	0.35
3.85E-02	1	15	9	0.6	0.99892
	2	15	5	0.3	0.75217
	3	15	3	0.2	0.60440
4.34E-02	1	15	9	0.6	1.13178
	2	15	5	0.3	0.71611
	3	15	3	0.2	0.65423
5.44E-02	1	15	9	0.6	1.14976
	2	15	5	0.3	0.81029
	3	15	3	0.2	0.76921

Tabel 4.15, Analisa Bilangan Froude untuk Ratio Penyempitan

Debit	No	B saluran	Variasi Penyempitan	Ratio %	ΔE
1.59E-02	1	15	9	0.6	10.75141
	2	15	5	0.3	6.40235
	3	15	3	0.2	4.84152
3.85E-02	1	15	9	0.6	12.13541
	2	15	5	0.3	11.20004
	3	15	3	0.2	7.32656
4.34E-02	1	15	9	0.6	16.76680
	2	15	5	0.3	7.68018
	3	15	3	0.2	7.38924
5.44E-02	1	15	9	0.6	12.05556
	2	15	5	0.3	7.45378
	3	15	3	0.2	9.30390

Tabel 4.16, Analisa Nilai ΔE untuk Ratio Penyempitan

Dari Tabel di atas diketahui bahwa angka Δ Froude semakin naik atau tinggi ketika debit bertambah serta lebar penyempitan semakin besar dengan kata lain saluran semakin sempit, demikian juga ΔE nilai semakin tinggi jika lebar saluran sempit dan debit semakin besar.

Kesimpulan

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

1. Karakteristik aliran yang terjadi pada ratio 0,6 ; 0,3 dan 0,2 dengan debit $1,59 \times 10^{-2}$ m³/detik, $3,85 \times 10^{-2}$ m³/detik, $4,34 \times 10^{-2}$ m³/detik, dan $5,44 \times 10^{-2}$ m³/detik adalah aliran **subkritis**, dikarenakan Δ Froude nya

- dibawah nilai 1. Namun pada ratio 0,6 khususnya pada titik 20 – 50 dengan debit $3,85 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$, serta titik 5 – 50 dengan debit $4,34 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$, dan titik 2 - 50 pada debit $5,44 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$ berubah menjadi aliran superkritis dikarenakan $\Delta Froude$ nya di atas nilai 1.
2. Perubahan ΔE spesifik semakin besar penyempitan pada saluran dan debit maka perubahan yang terjadi semakin tinggi, disebabkan tinggi muka air naik karena penyempitan, namun disini terjadi kenaikan yang signifikan pada ratio 0,6 di titik 5, 10, 15, 20, 25 dengan debit $4,34 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik}$ di sebabkan debit lumayan besar serta luas penampang pada titik tersebut terlalu kecil.
 3. . Aplikasi untuk saluran irigasi pada lapangan yang ideal untuk ratio R 0,6 harus mempunyai nilai Froude maksimal sebesar 1,14.
 . Dengan ratio 0.3 ternyata hasil di laboratorium dan di lapangan (jl. Gajah Mada XII) ternyata aliran yang terjadi adalah *subkritis* ($f < 1$) karena dengan debit 13 liter/detik hanya mampu menghasilkan tinggi muka air sebesar 20 – 23 cm. Namun jika kondisi air hulu tinggi di akibatkan air hujan yang melimpah dan debit yang terjadi besar maka bisa jadi tinggi muka air naik sebesar 63 - 75 cm dan aliran yang terjadi akan menjadi *superkritis*, akan tetapi melihat kondisi lapangan yang memiliki tinggi dinding saluran 280 cm dengan komposisi 200 pas batu kali dan 80 pas bata merah untuk dinding bahu jalan masih memungkinkan dalam kondisi aman.

Saran

Berdasarkan pada Tugas Akhir “**Desain Ulang Saluran Terbuka Akibat Kehilangan Energi Spesifik Yang Disebabkan Penyempitan Pada Saluran**” 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 disarankan memperpanjang penyempitan pada saluran agar pengukuran dan

perilaku aliran lebih mudah diamati sekaligus faktor kekasaran dan kemiringan saluran turut diperhitungkan.

2. Mampu menyelesaikan model aplikasi dengan tepat sesuai metode di laboratorium yang nantinya di gunakan pada prototip (lapangan).

DAFTAR PUSTAKA

1. *Budi Santoso, 1988, Hidrolika II, Biro penerbit UGM, Yogyakarta*
2. *Budi Suteja, 1998, Aliran melalui penyempitan saluran, Biro Penerbit UGM, Yogyakarta*
3. *Rangga raju, 1999, Aliran melaului saluran terbuka, Erlangga, Jakarta*
4. *Robert.J.Kodoatie, 2002, Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbukadan Pipa, Andi Yogyakarta.*
5. *Tracey, and Carter, 1961. Resistance Coeffisients and Velocity Distribution- Smooth Rectangular Channel. U.S. Geological*
6. *Survey Ven Te Chow, 1991, Aliran melalui saluran terbuka, Erlangga, Jakarta*

