

Desain Saluran Terbuka Berbasis Microsoft Excel Perhitungan dan Pemodelan yang Praktis dan Efisien

Faizal Agung Riyadi¹, Tedy Agung Cahyadi², Nurkhamim², Supandi³

¹Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

²Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

³Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Email: faizalagungriyadi@gmail.com

Abstrak

Saluran dibangun sebagai media yang berfungsi untuk mengalirkan air. Di dalam kegiatan perencanaan, desain, dan konstruksi saluran memerlukan banyak waktu, upaya, dan biaya. Desain dan konstruksi saluran harus sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik lokasi yang digunakan. Seringkali terjadi perubahan parameter dalam menentukan desain saluran akibat pertimbangan teknis maupun ekonomis. Hal tersebut menuntut perubahan desain saluran yang sesuai dengan parameter yang baru. Oleh sebab itu, diperlukan alat untuk mempermudah perhitungan desain saluran. Parameter yang diperlukan untuk menghitung desain saluran adalah debit (Q), faktor tahanan Chezy (C), Koefisien Darcy-Weisbach (f), atau faktor kekasaran Manning (n), dan parameter gradien alas saluran (i). Penelitian bertujuan untuk menghitung dan memodelkan desain saluran, serta menyediakan alat atau media praktis dan mudah digunakan. Metode yang dilakukan adalah dengan menerapkan formula perhitungan Chezy, Darchy-Weisbach, dan Manning untuk berbagai bentuk saluran menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Penentuan nilai faktor tahanan Chezy (C), Koefisien Darcy-Weisbach (f), dapat dihubungkan dari faktor kekasaran Manning (n). Koefisien kekasaran Manning (n) dapat diperkirakan dari ukuran partikel material penyusun alas saluran (d) menggunakan formula, maupun mengacu kepada tabel faktor kekasaran Manning. Penelitian ini menghasilkan alat untuk menghitung dan memodelkan desain saluran terbuka "Kalkulator Desain Saluran – FAR". Penulis mengusulkan formula baru untuk memperkirakan nilai faktor kekasaran Manning (n) dari ukuran partikel material penyusun alas saluran (d). Selain itu, penulis mengusulkan formula untuk menghitung langsung tinggi air dalam penampang geometri saluran (y). Formula tersebut diperoleh dengan memasukkan koefisien α yang berdasar dari hubungan antar parameter geometri saluran kedalam formula Chezy, Darchy-Weisbach, dan Manning.

Kata Kunci: alat, desain, geometri, praktis, saluran.

Abstract

A channel is constructed as a media for water to flow. Phases of plan, design, and construction of a channel require a lot of time, effort, and budget. Design and construction of a channel need to be suited to certain requirements and characteristics of the location. Changes of design parameters often occurred as a result of technical and economical considerations. It leads to changes of channel design to adapt to the new parameters. Hence, the needs of tool to ease the calculation of channel design. Required parameters for channel design calculations are flow (Q), Chezy's resistance factor (C), Darcy-Weisbach's coefficient (f), atau Manning's roughness factor (n), and the channel base gradient (i). The objective of this research are channel design calculations and modelling, in addition provide a tool which is practical and easy to use. The methods are Chezy, Darchy-Weisbach, and Manning formula to calculate the design of varied channel type using Microsoft Excel software. Determinations of Chezy's resistance factor (C), Darcy-Weisbach's coefficient (f), can be related to Manning's roughness factor (n) value. Manning's roughness factor (n) can be estimated from the size of channel bed's lining material particles (d) using certain formula or define the value directly from Manning's roughness factor table. The result of this research including a tool for open channel design calculation and modelling "Kalkulator Desain Saluran – FAR". The writers propose a new formula to estimate Manning's roughness factor (n) value from the size of channel bed's lining material particles (d). In addition, the writers propose formulas to directly calculate water level on the channel geometry section (y). The formula include coefficient of α which is based on relations of channel geometry parameters in to the formula of Chezy, Darchy-Weisbach, and Manning.

Keywords: channel, design, geometry, practical, tool

1. PENDAHULUAN

Saluran merupakan suatu konstruksi yang dibangun sebagai media untuk mengalirkan air. Terdapat istilah seperti *watercourse diversion* [1], *river flow control works* [2], *river realignment* [3], *river deviation* [4], *interbasin water transfer* [5], *channelization* [6], *water diversion* [7]. Istilah-istilah tersebut memiliki penafsiran dan makna yang sama, menggambarkan fungsi saluran.

Konstruksi saluran memerlukan banyak upaya dan waktu dalam melakukan kajian yang lebih detail. Selain itu juga membutuhkan biaya untuk investasi perencanaan, desain, dan konstruksi yang tidak murah [7]. Saluran pengalih yang tidak sesuai dengan karakter alaminya dapat menyebabkan dampak yang besar pada kinerja dan peluang keberhasilannya [8]. Oleh karena itu, saluran harus didesain agar sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik lokasi rencana pembangunan saluran. Kegagalan desain saluran dapat menyebabkan luapan yang akibatnya bukan hanya genangan, namun juga dapat mengganggu kekuatan produktifitas maupun keamanan di sekitar saluran. Terlebih lagi, adanya potensi penurunan kekuatan tanah akibat adanya eksposur dan reaksi terhadap air [9] [10] [11].

Formula perhitungan yang telah dikembangkan untuk menghitung desain saluran yang umum dikenal yaitu menggunakan formula Chezy (1769), Darcy-Weisbach (1840), dan Manning (1889) pada Tabel 1 [12][13]. Tiap formula memiliki faktor koreksi masing-masing, faktor tahanan hidrolik aliran (*flow resistance*) Chenzy (C), faktor kekasaran Manning (n), koefisien Darcy-Weisbach (f). Formula tersebut dapat digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap 3 bentuk penampang saluran, yaitu *trapezoidal*, *rectangular*, dan *triangular*. Perhitungan desain saluran untuk memperoleh geometri saluran yang sesuai, berdasarkan debit air atau kecepatan aliran yang mengalir melalui luas penampang saluran, yang dikoreksi dengan faktor tahanan hidrolik aliran.

Pada praktiknya, seringkali parameter dalam membuat desain saluran berubah akibat pertimbangan teknis maupun ekonomis. Perubahan ini menyebabkan perhitungan ulang terhadap parameter yang baru untuk memperoleh geometri saluran yang sesuai dengan perubahan. Mempertimbangkan hal tersebut, diperlukan suatu alat atau media yang dapat mempermudah perhitungan desain saluran. Tulisan ini bertujuan untuk menghitung dan memodelkan parameter saluran, serta menyediakan alat atau media untuk yang praktis dan mudah untuk digunakan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menerapkan formula untuk menghitung geometri saluran berdasarkan debit air dan kondisi material penyusun saluran menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Perangkat lunak ini digunakan karena mudah diakses dan dipelajari oleh siapa saja, baik pengguna dengan ketrampilan pemula maupun menengah.

Kondisi aliran diasumsikan seragam atau uniform (nilai luas penampang dan kecepatan aliran bernilai relatif sama sepanjang saluran), *friction slope*, *water surface slope*, dan *bed slope* dianggap setara (equivalent). Dengan demikian, untuk aliran yang seragam atau hampir seragam (near-uniform), nilai *friction slope* setara dengan kemiringan alas saluran (i) secara longitudinal [13].

Perhitungan desain saluran dari debit rencana, dilakukan dengan menerapkan formula pada Tabel 1. Untuk tiap formula, koefisien kekasaran atau tahanan harus diturunkan dari parameter lain maupun diasumsikan, biasanya dari penelitian empiris sebelumnya. Koefisien Darcy-Weisbach bersifat teoritis dan tanpa dimensi (*dimensionless*), sedangkan faktor tahanan Chezy dan faktor kekasaran Manning diturunkan secara empiris. Formula Chezy and Manning lebih umum digunakan oleh praktisi dibandingkan dengan Darcy-Weisbach. Hingga saat ini, formula Manning yang paling sering digunakan oleh *river engineer*. Rujukan dan penggunaan faktor kekasaran atau tahanan biasa merujuk kepada faktor kekasaran Manning (n) [13].

Tabel 1. Formula Chezy, Darcy-Weisbach, dan Manning

Metode	Formula	Keterangan
Chezy (1769)	$Q = C \cdot A \cdot (R \cdot i)^{1/2}$ $v = C \cdot (R \cdot i)^{1/2}$	Q = debit air v = kecepatan aliran A = luas penampang saluran R = jari-jari hidrolik i = gradien alas saluran
Darcy-Weisbach (1840)	$Q = A \left(\frac{8g \cdot R \cdot i}{f} \right)^{1/2}$ $v = \left(\frac{8g \cdot R \cdot i}{f} \right)^{1/2}$	C = faktor tahanan Chezy

Metode	Formula	Keterangan
Manning (1889)	$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$ $v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$	$f = \text{koefisien Darcy-Weisbach}$ $n = \text{faktor kekasaran Manning}$

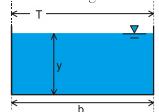
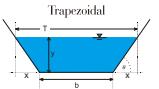
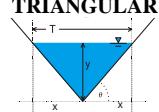
Dimodifikasi dari Chow [12], dan McKay & Fischenich [13]

Pemodelan dilakukan terhadap bentuk geometri saluran tertentu dengan variabel kondisi material penyusun saluran yang berbeda. Geometri saluran dihitung untuk debit air yang beragam. Model yang dihasilkan berupa korelasi antara debit air dengan geometri saluran yang diperlukan, untuk tiap kondisi material penyusun saluran yang berbeda.

2.1. Tipe Geometri Saluran

Dalam tulisan ini, mengulas 3 jenis tipe geometri saluran, yaitu *trapezoidal*, *rectangular*, dan *triangular*. Tipe dan hubungan antar parameter geometri masing-masing tipe saluran di atas terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tipe dan parameter geometri saluran

Jenis Penampang	Luas Penampang A - (m ²)	Lebar Alas b - (m)	Perimeter Basah P - (m)	Radius Hidrolik R - (m)	Lebar Atas T - (m)	Kedalaman Hidrolik D - (m)
RECTANGULAR						
		by	$a \cdot y$ a = konstanta	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b
TRAPEZOIDAL						
		$(b + x)y$ $x = \frac{y}{\tan \theta}$	$y \cdot \cos \theta$	$b + 2z$ $z = \frac{y}{\sin \theta}$	$\frac{(b + x)y}{b + 2 \left(\frac{y}{\sin \theta} \right)}$ $(b + 2x)$	$\frac{(b + x)y}{(b + 2x)}$
TRIANGULAR						
		$\frac{1}{2}T \cdot y$	-	$z = \frac{y}{\sin \theta}$	$\frac{T \sin \theta}{4}$ $2 \cdot x$ $x = \frac{y}{\tan \theta}$	$\frac{T \tan \theta}{4}$
$R = A/P$, $D = A/T$, $w = (0.5y)^{(1/2)}$ $y = \text{tinggi air pada penampang basah (m)}$ $z = \text{panjang sisi diagonal (m)}$ $w = \text{tinggi jagaan (m)}$						

Dimodifikasi dari Chow [12]

2.2. Estimasi koefisien kekasaran Manning (n)

Strickler [14] mengembangkan persamaan empiris untuk memperkirakan koefisien kekasaran Manning (n) berdasarkan diameter material penyusun alas saluran. Persamaan ini terkalibrasi dengan data laboratorium dan merupakan formula yang paling sering digunakan untuk memperkirakan kekasaran dari butiran Meyer-Peter & Muller [15] mengembangkan persamaan serupa ketika melakukan penelitian transportasi sedimen kemudian dikalibrasi ulang oleh Wong-Parker [16] dan memperbarui asumsi yang berlaku sebelumnya. Maynard [17] melakukan kalibrasi ulang terhadap persamaan Strickler [14] dengan kajian laboratorium terhadap material angular yang berukuran besar. Material angular sering digunakan untuk upaya stabilisasi bantaran sungai (riprap). Meskipun bentuk partikel berbeda dengan material aluvial, kemiripan persamaan Maynard terhadap persamaan Strickler menunjukkan bahwa ukuran butir lebih berpengaruh terhadap kekasaran dibandingkan dengan bentuk partikel [12].

Tabel 3. Formula untuk estimasi koefisien kekasaran Manning (n)

Metode	Formula	Rentang Kalibrasi
Strickler (1923)	$n = 0.0474 \cdot d_{50}^{1/6}$	-
Wong-Parker (2006)	$n = 0.0431 \cdot d_{90}^{1/6}$	$0.38 < d_{90} < 28.65 \text{ mm}$
Maynard (1991)	$n = 0.0439 \cdot d_{90}^{1/6}$	$4.57 < d_{90} < 134 \text{ mm}$

(d_{50}) = 50% dari butiran berukuran lebih halus dari ukuran butir yang dimaksud (d)

(d_{90}) = 90% dari butiran berukuran lebih halus dari ukuran butir yang dimaksud (d)

Dimodifikasi dari McKay & Fischelich [13]

2.3. Hubungan faktor kekasaran Manning (n) terhadap faktor tahanan hidrolik Cheny (C) dan koefisien Darcy-Weisbach (f)

Pavlovsky mengembangkan formula untuk hubungan antara faktor tahanan hidrolik aliran (*flow resistance*) Chezy (C), kekasaran Manning (n), dan jari-jari hidrolik (R), dengan persamaan berikut [3]:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y \quad (1)$$

di mana nilai y diperoleh dari persamaan berikut, di mana:

$$y = 1.5 \cdot n^{1/2} \text{ untuk } R < 1 \text{ m}$$

$$y = 1.3 \cdot n^{1/2} \text{ untuk } R > 1 \text{ m}$$

Apabila (1) dilakukan persamaan terhadap formula Chezy dan Darcy-Weisbach diperoleh:

$$C \cdot (R \cdot i)^{1/2} = \left(\frac{8g \cdot R \cdot i}{f} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Maka hubungan C terhadap f adalah:

$$C = \left(\frac{8g}{f} \right)^{1/2}, g = 9.806 \text{ m/s}^2 \quad (3)$$

Dengan demikian, dapat diperoleh persamaan untuk nilai f terhadap C sebagai berikut:

$$f = \frac{8g}{C^2} \quad (4)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (1) kedalam persamaan (4), persamaan untuk nilai f terhadap n adalah:

$$f = \frac{8g}{\left(\frac{1}{n} \cdot R^y \right)^2} \quad (5)$$

di mana nilai y diperoleh dari persamaan berikut, di mana:

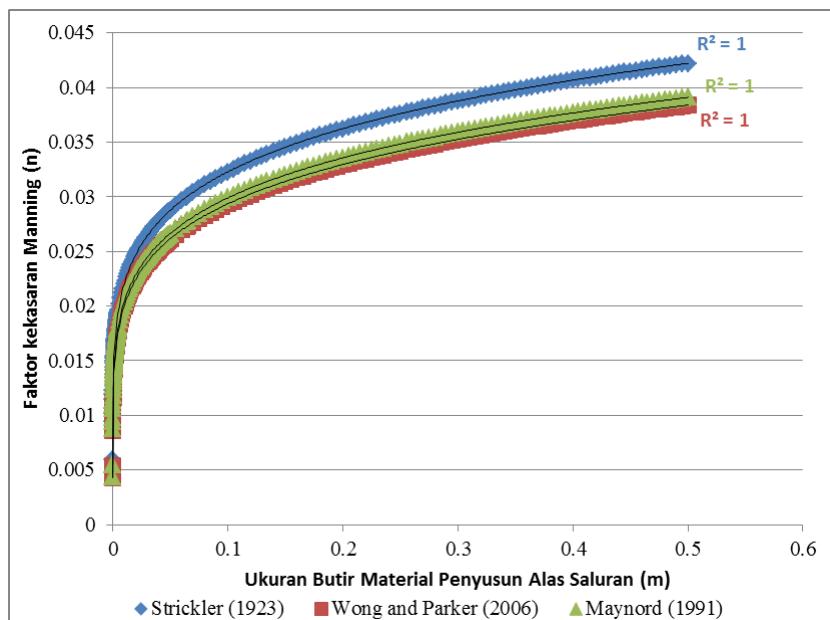
$$y = 1.5 \cdot n^{1/2} \text{ untuk } R < 1 \text{ m}$$

$$y = 1.3 \cdot n^{1/2} \text{ untuk } R > 1 \text{ m}$$

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Formula Baru Untuk Menghitung Faktor Kekasaran Manning

Perhitungan dan perbandingan dilakukan menggunakan formula dari Strickler, Wong-Parker, dan Maynard (Tabel 3), dengan masing-masing 197 perhitungan berdasarkan ukuran partikel (d) mulai dari 0.004 mm (batas ukuran lempung menurut skala Wentworth) hingga 0.5. Hasil perhitungan tiga formula tersebut kemudian diplot kedalam sebuah kurva, yang dirunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Plotting nilai n dari ukuran butir

Perbandingan dilakukan terhadap nilai n hasil perhitungan dari nilai n menggunakan formula Strickler, Wong-Parker, dan Maynard. Nilai standar deviasi meningkat seiring bertambahnya ukuran butir. Apabila dibandingkan, untuk perhitungan nilai n menggunakan formula Strickler berikut dengan formula Wong-Parker diperoleh rentang deviasi sebesar 3.04×10^{-4} - 2.71×10^{-3} . Berdasarkan perhitungan nilai n menggunakan formula Strickler berikut dengan formula Maynard diperoleh rentang deviasi sebesar 2.47×10^{-4} - 2.20×10^{-3} . Berdasarkan perhitungan dari nilai n menggunakan formula Wong-Parker serta Maynard diperoleh rentang deviasi sebesar 5.66×10^{-5} - 5.04×10^{-4} .

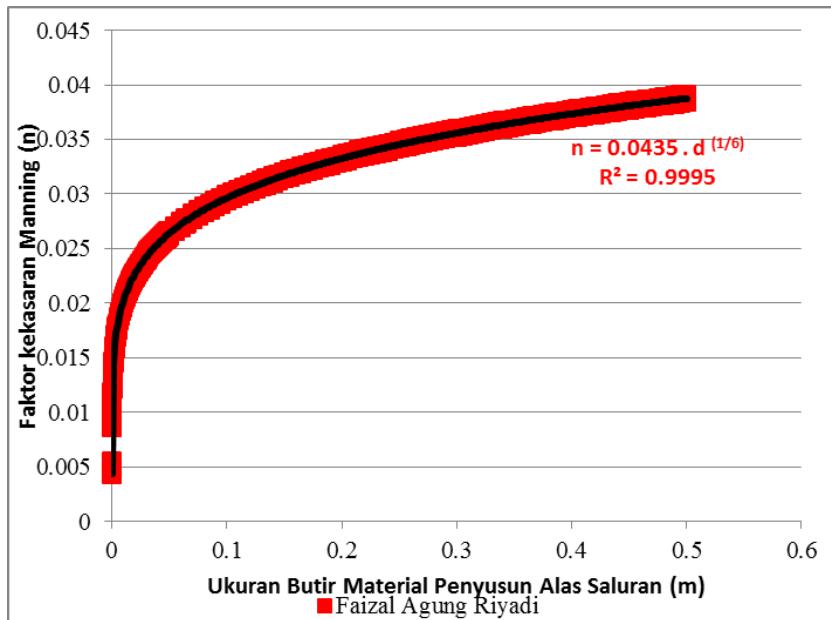
Meninjau rentang deviasi dari nilai n formula Wong-Parker dengan Maynard lebih kecil dibandingkan terhadap Strickler. Penulis mencoba untuk memperoleh formula baru untuk memperkirakan faktor kekasaran Manning (n) dengan rentang ukuran partikel (d) 0.004 mm (lempung) hingga 0.5 m (bongkah). Hal ini dilakukan dengan menggabungkan data perhitungan nilai kekasaran (n) yang diperoleh menggunakan formula Wong-Parker dan Maynard dengan jumlah 394 perhitungan. Data diplot dan dikorelasikan di dalam grafik untuk memperoleh persamaan dan korelasinya (Gambar 2). Berdasarkan korelasi tersebut diperoleh formula baru, dengan nilai R^2 sebesar 0.9995 (Gambar 3). Formula tersebut dinyatakan sebagai:

$$n = 0.0435 \cdot d^{1/6} \quad (6)$$

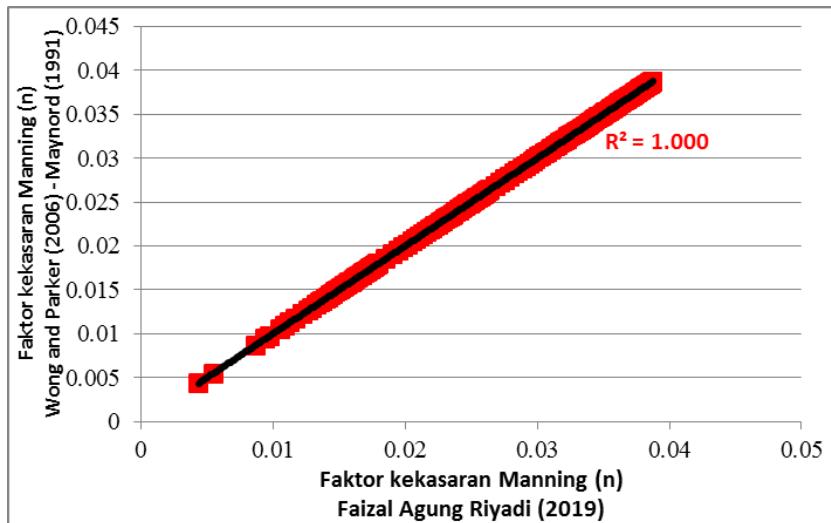
Di mana n merupakan faktor kekasaran Manning dan d adalah ukuran partikel material alas saluran.

Hasil perhitungan nilai kekasaran (n) yang diperoleh dengan formula (6) kemudian dibandingkan dengan nilai rata-rata formula Wong-Parker dan Maynard dengan 197 nilai ukuran partikel dengan 0.004 mm (lempung) hingga 0.5 m (bongkah). Dari 197 perhitungan 104 di antaranya bernilai sama (standar deviasi 0), dan standar deviasi terbesar hanya 6.939×10^{-18} . Sehingga, bisa dikatakan bahwa formula (6) di atas menggambarkan nilai tengah dari formula Wong-Parker dan Maynard.

Formula (6) dinilai menjadi formula yang tepat untuk memudahkan hubungan antara formula Wong-Parker dan Maynard pada Tabel 3. Kalibrasi untuk formula Wong-Parker untuk rentang ukuran partikel $0.38 < d_90 < 28.65$ mm, dan Maynard [17] untuk rentang ukuran partikel $4.57 < d_90 < 134$ mm.



Gambar 2. Plotting nilai n dari ukuran butir



Gambar 3. Verifikasi formula perhitungan n dengan persamaan (6)

3.2. Koefisien α dan Formula Baru Untuk Menghitung Tinggi air (y)

Nilai faktor tahanan Chezy (C), Koefisien Darcy-Weisbach (f), dan faktor kekasaran Manning (n) dapat saling dihubungkan dengan persamaan (1), (3), (4), dan (5). Faktor kekasaran Manning (n) dapat diperkirakan dari ukuran partikel material penyusun alas saluran menggunakan persamaan persamaan (6) dan Tabel 3. Selain itu, lampiran 6 dapat digunakan sebagai acuan menentukan faktor kekasaran Manning (n).

Geometri saluran dihitung dengan mensubtitusikan hubungan parameter dimensi saluran pada Tabel 2 terhadap formula pada Tabel 2. Substitusi dilakukan untuk tiap Formula, baik Chezy, Darcy-Weisbach, maupun Manning untuk memperoleh parameter tinggi air dalam saluran (y) untuk masing-masing tipe saluran (*rectangular*, *trapezoidal*, *triangular*).

Lebar Alas Saluran (b)

Besarnya nilai saluran pada saturan tipe *rectangular* senilai dua kali dari tinggi air ($b = n \cdot y$, di mana n adalah konstanta). Untuk tipe *trapezoidal*, alas saluran ditentukan berdasarkan tinggi air (y) dan

kemiringan saluran (Θ)), sehingga lebar alas saluran bernilai ($b = y \cdot \cos(\Theta)$). Sedangkan untuk tipe *triangular* dimensi alas (b) bernilai 0 atau tidak memiliki dimensi b .

Formula Untuk Menghitung Tinggi Air (y)

Nilai y merupakan ketinggian air dari dasar saluran secara vertikal. Dalam tulisan ini, tinggi air (y) diperoleh dari subtitusi rasio parameter dimensi $R(y)$, $P(y)$, $A(y)$ yang secara berurutan merupakan rasio Radius Hidrolik (R), Perimeter Basah (P), dan Luas Penampang basah (A) terhadap tinggi air (y) untuk tiap tipe saluran terhadap formula Chezy (7), Darcy-Weisbach (8), dan Manning (10). Subtitusi nilai $R(y)$, $P(y)$, $A(y)$ kedalam $A^2 \cdot R$ untuk formula Chezy dan Darcy-Weisbach, serta terhadap $A \cdot (R)^{\frac{2}{3}}$ untuk formula maning memperoleh koefisien α .

$$\text{Formula Chezy} \quad \frac{Q^2}{C^2 \cdot i} = A^2 \cdot R \quad (7)$$

$$\text{Formula Darcy-Weisbach} \quad \frac{Q^2 f}{8g i} = A^2 \cdot R \quad (8)$$

$$\text{Formula Manning} \quad \frac{Qn}{i^{\left(\frac{1}{2}\right)}} = A \cdot (R)^{\frac{2}{3}} \quad (9)$$

Koefisien α merupakan koefisien dimasukkan ke dalam persamaan untuk memperoleh nilai ketinggian air (y) dari formula Chezy, Darcy-Weisbach, dan Manning. Untuk koefisien α sangat tergantung dari sudut kemiringan saluran (Θ) yang ditunjukkan dari besar dari tiap rasio jari-jari hidrolik (R), perimeter basah (P), dan luas penampang basah (A) terhadap tinggi air (y).

Hubungan antara kemiringan saluran (Θ) dari $5^\circ - 60^\circ$ dengan koefisien α untuk nilai koefisien n ditunjukkan dalam Tabel 4. Untuk tipe saluran *rectangular*, subtitusi terhadap formula Chezy, Darcy-Weisbach, dan Manning untuk alas saluran ($b = n \cdot y$, di mana a adalah *konstanta*). Berdasarkan hasil subtitusi terhadap formula Chezy (7), Darcy-Weisbach (8), dan Manning (9), diperoleh fungsi dengan memasukkan koefisien α berdasarkan nilai a , di mana a adalah *konstanta*. Fungsi yang dimaksud adalah sebagai berikut:

$$\text{Chezy (tipe } \textit{rectangular}) \quad y = \left(\frac{Q^2}{\alpha \cdot 2(C^2 \cdot i)} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (10)$$

$$\text{Darcy-Weisbach (tipe } \textit{rectangular}) \quad y = \left(\frac{Q^2 f}{\alpha \cdot 2.8g i} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (11)$$

$$\text{Manning (tipe } \textit{rectangular}) \quad y = \left(\frac{Qn}{\alpha \cdot 2^{\left(\frac{1}{3}\right)} i^{\left(\frac{1}{2}\right)}} \right)^{\left(\frac{3}{8}\right)} \quad (12)$$

Pada tipe saluran *trapezoidal* dan *triangular*, berdasarkan hasil subtitusi terhadap formula Chezy (7), Darcy-Weisbach (8), dan Manning (9) untuk saluran dengan sudut saluran (Θ), dan alas saluran ($b = y \cdot \cos \Theta$, diperoleh fungsi dengan memasukkan koefisien α berdasarkan nilai sudut saluran (Θ). Formula tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Chezy (trapezoidal \& triangular)} \quad y = \left(\frac{Q^2}{\alpha C^2 \cdot i} \right)^{\left(\frac{1}{5}\right)} \quad (13)$$

$$\text{Darcy-Weisbach (trapezoidal \& triangular)} \quad y = \left(\frac{Q^2}{\alpha \cdot 8g \cdot i} \right)^{\left(\frac{1}{5}\right)} \quad (14)$$

$$\text{Manning (trapezoidal \& triangular)} \quad y = \left(\frac{Qn}{\alpha \cdot i^{\left(\frac{1}{2}\right)}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (15)$$

Tabel 4. Hubungan nilai koefisien α dan parameter geometri, saluran tipe trapezoid

a untuk (a) ² y	Rectangular			Trapezoid			Triangular							
	P (y)	R (y)	Manning	Chezy & Darcy-Weisbach	θ (°)	P (y)	R (y)	Manning	Chezy & Darcy-Weisbach	θ (°)	P (y)	R (y)	Manning	Chezy & Darcy-Weisbach
			koef. α untuk a, y (8/3)	koef. α untuk a, y ^{5/8}				koef. α untuk a, y (8/3)	koef. α untuk a, y ^{5/8}				koef. α untuk a, y (8/3)	koef. α untuk a, y ^{5/8}
0.25	2.25	0.111	0.0578	0.0069	5	23.944	0.519	8.0249	80.1365	5	22.947	0.498	7.1822	65.0745
0.50	2.50	0.200	0.1710	0.0500	10	12.502	0.532	4.3722	23.5866	10	11.518	0.492	3.5364	15.8374
0.75	2.75	0.273	0.3154	0.1534	15	8.693	0.540	3.1169	11.9274	15	7.727	0.483	2.2973	6.7268
1.00	3.00	0.333	0.4807	0.3333	20	6.787	0.543	2.4548	7.3855	20	5.848	0.470	1.6605	3.5467
1.25	3.25	0.385	0.6611	0.6010	25	5.639	0.541	2.0257	5.0358	25	4.732	0.453	1.2652	2.0840
1.50	3.50	0.429	0.8527	0.9643	30	4.866	0.534	1.7099	3.6040	30	4.000	0.433	0.9914	1.2990
1.75	3.75	0.467	1.0529	1.4292	35	4.306	0.522	1.4567	2.6358	35	3.487	0.410	0.7876	0.8354
2.00	4.00	0.500	1.2599	2.0000	40	3.877	0.505	1.2414	1.9353	40	3.111	0.383	0.6285	0.5440
2.50	4.50	0.556	1.6895	3.4722	45	3.536	0.483	1.0507	1.4071	45	2.828	0.354	0.5000	0.3536
3.00	5.00	0.600	2.1341	5.4000	50	3.254	0.455	0.8772	1.0002	50	2.611	0.321	0.3937	0.2263
4.00	6.00	0.667	3.0526	10.6667	55	3.015	0.422	0.7172	0.6855	55	2.442	0.287	0.3045	0.1406
5.00	7.00	0.714	3.9953	17.8571	60	2.809	0.383	0.5687	0.4451	60	2.309	0.250	0.2291	0.0833

R=A/P A.R^(2/3) A^2.R R=A/P A.R^(2/3) A^2.R

Hasil Kalkulasi dan Analisis

Untuk kasus pada lampiran 1 menunjukkan proses diperolehnya koefisien α , di mana ditentukan sudut kemiringan saluran trapesium (Θ) = 60° , nilai koefisien α untuk formula Chezy, Darcy-Weisbach, dan Manning secara berurutan yaitu : $\alpha = 0.4451$, $\alpha = 0.4451$, $\alpha = 0.5687$. Formula Chezy dan Darcy-Weisbach memiliki kemiripan fungsi terhadap debit saluran (Q), dimana komponen:

$$C = \left(\frac{8g}{f}\right)^{1/2} \quad \text{di dalam persamaan:}$$

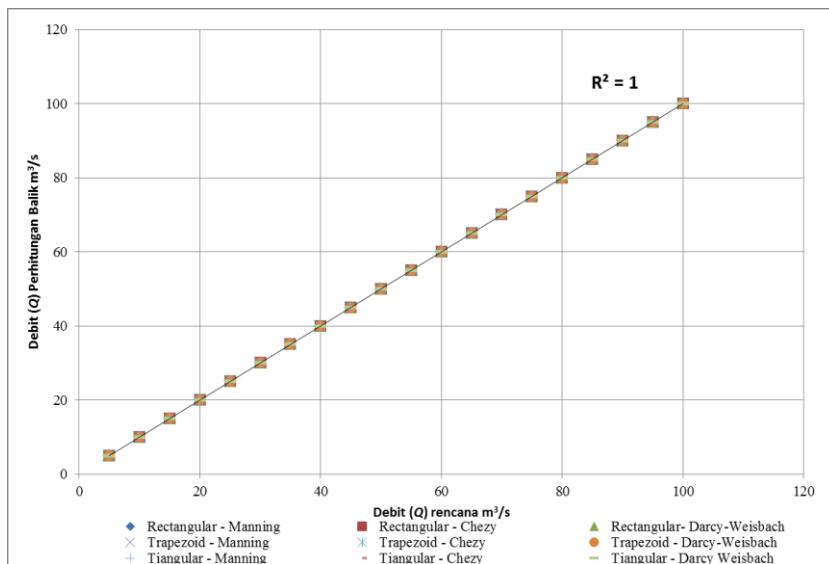
$$Q = C \cdot (R \cdot i)^{1/2} = \left(\frac{8g \cdot R \cdot i}{f}\right)^{1/2}$$

Sehingga formula Chezy dan Darcy-Weisbach memiliki koefisien α yang setara atau sama.

3.3. Kalkulator Desain Saluran

Kalkulator Desain Saluran dibuat dalam perangkat lunak Microsoft Excel. Tipe saluran yang tersedia untuk dihitung desainnya dalam kalkulator adalah tipe *rectangular*, *trapesoidal* dan *triangular*. Metode yang tersedia untuk menghitung desain adalah Metode Chezy, Darcy-Weisbach, dan Manning.

Komputasi dilakukan dengan menghitung nilai tinggi air dalam saluran (y) berdasarkan pada masukan berupa debit (Q), gradien saluran (i), dan faktor kekasaran Manning, dengan formula pada persamaan (10) - (15). Parameter geometri saluran yang lain (lebar alas (b), sisi miring (z), luas penampang (A), perimeter basah (P), dan radius hidrolik (R)) dihitung menggunakan persamaan relasi geometri pada Tabel 2.



Gambar 4. Plotting verifikasi komputasi

Hasil komputasi desain geometri diverifikasi dengan kalkulasi balik terhadap parameter geometri desain luas penampang dan radius hidrolik hasil komputasi (R) untuk menentukan debit

(Q) dari penampang desain. Kemudian Q rencana dan Q hasil kalkulasi balik diplot kedalam satu grafik untuk menentukan nilai R^2 (Gambar 4). Hasil komputasi dinyatakan valid untuk tiap tipe saluran dan untuk tiap metode pada Tabel 1. Tabulasi verifikasi komputasi terdapat pada lampiran 1 - 3 untuk masing-masing jenis saluran dan metode yang berbeda.

Parameter yang diperlukan sebagai input data untuk menggunakan kalkulator tersebut (lampiran 5) adalah sebagai berikut:

1. Debit rencana / Debit yang diperlukan ($Q - \text{m}^3/\text{s}$)
2. Kemiringan atau gradien alas saluran secara memanjang (*longitudinal*) ($i - \text{m/m}$)
3. Kondisi saluran dan material penyusun saluran, atau ukuran butir material penyusun saluran untuk menentukan faktor kekasaran Manning (n).
4. Untuk saluran tipe *trapezoidal* dan *triangular* perlu memasukkan parameter sudut kemiringan saluran (Θ) pada kolom yang tersedia.

Metode yang dapat dipilih dengan mengisi *checkbox* yang tersedia untuk memperkirakan faktor kekasaran Manning (n), yaitu:

1. Metode manual dengan memilih kondisi saluran dari daftar dalam tabel, dengan menekan scrollbar yang tersedia, dan menentukan rentang minimum-maksimumnya.
2. Menghitung faktor kekasaran Manning (n). Menggunakan formula pada Tabel 3, dengan memasukkan ukuran partikel material penyusun saluran (dalam satuan meter)

Langkah - Langkah Penggunaan

Langkah penggunaan kalkulator desain saluran adalah sebagai berikut:

1. Memilih Metode (Chezy / Manning / Darcy-Weisbach) (*Scrollbar*) dan jenis Saluran (*Checkbox*) pada kolom yang tersedia (lampiran 5).
2. Mengisi nilai debit ($Q - \text{m}^3/\text{s}$) dan mengisi nilai gradien alas saluran ($i - \text{m/m}$), dan sudut kemiringan saluran (Θ) (lampiran 5).
3. Menentukan nilai kekasaran Manning (n) (lampiran 5) dengan cara:
 - Memilih kondisi saluran (*Scrollbar*), dan rentang nilainya.
 - Atau dengan metode kalkulasi berdasarkan ukuran butir material penyusun alas saluran (dalam satuan meter). Dapat juga memilih dari *Scrollbar* (menurut skala wentworth) dalam kolom yang tersedia.
4. Tekan tombol “LIHAT HASIL” untuk menuju ke halaman hasil perhitungan dan untuk melakukan evaluasi terhadap desain.
5. Evaluasi dapat dilakukan dengan memeriksa nilai dari parameter dimensi saluran hasil komputasi dan model desain saluran, dan plotting diagram korelasi geometri desain saluran (y, x, r, b, T, P, R, A), maupun parameter lain (Q, v) pada halaman “SUMMARY” (lampiran 5)

4. KESIMPULAN

Penulis membuat alat (media) untuk menghitung dan memodelkan desain saluran yang praktis dan mudah digunakan untuk keperluan menghitung desain dimensi saluran berbasis *Microsoft Excel*. Alat (media) ini dinamakan sebagai “*Kalkulator Desain Saluran – FAR*”. Metode yang dilakukan adalah komputasi dengan menerapkan formula perhitungan Chezy, Darchy-Weisbach, dan Manning untuk tipe saluran *trapezoidal*, *rectangular*, dan *triangular*.

Penentuan nilai faktor tahanan Chezy (C), Koefisien Darcy-Weisbach (f), dihubungkan dari faktor kekasaran Manning (n). Koefisien kekasaran Manning (n) dapat diperkirakan dari ukuran partikel material penyusun alas saluran (d) menggunakan formula, maupun mengacu kepada tabel faktor kekasaran Manning (n).

Penulis mengajukan formula (6) untuk menghitung faktor kekasaran manning (n). Formula tersebut telah diverifikasi terhadap formula Wong - Parker [16] dan Maynord [17] tersebut, dan menggambarkan nilai tengah dari formula Wong - Parker [16] dan Maynord [17], untuk rentang ukuran partikel lempung hingga bongkah $0.004 \text{ mm} - 256 \text{ mm}$ ($4 \times 10^{-6} - 0.256 \text{ m}$).

Subtitusi persamaan antara hubungan parameter geometri saluran (*trapezoidal*, *rectangular*, dan *triangular*) pada Tabel 2 terhadap formula Chezy, Manning, dan Darcy-Weisbach pada Tabel 1 untuk menentukan persamaan tinggi air dalam saluran (t) dengan persamaan (10) – (15). Nilai t dapat dihitung secara langsung dengan suatu menambahkan koefisien α tertentu, daftar koefisien α dan penentunya terdapat pada Tabel 4.

Parameter geometri desain tipe saluran yang lain, seperti *circular*, *semi circular*, *parabolic* belum termuat dalam tulisan ini, dan akan dilakukan dalam penulisan berikutnya. Selain itu, pada tulisan

ini saluran diposisikan sebagai saluran yang lurus dan seragam. Kasus-kasus seperti momentum dan mekanika fluida pada belokan saluran belum dipertimbangkan dalam tulisan ini, sehingga dapat menjadi ulasan pada tulisan-tulisan berikutnya.

Keterdapatian Informasi

Informasi yang terdapat pada tulisan ini, diantaranya:

1. Metode perhitungan debit dan kecepatan aliran pada saluran terbuka (*trapezoidal, rectangular, triangular*) dengan formula Chezy, Manning, dan Darcy-Weisbach Tabel 1
2. Tipe saluran dan hubungan antar parameter geometrinya Tabel 2.
3. Metode estimasi kekasaran manning secara matematis, dengan formula pada (Tabel 3)
4. Koefisien α (Tabel 4) dan formula untuk menghitung tinggi air (y) secara langsung, berdasarkan formula Chezy, Manning, dan Darcy-Weisbach, menggunakan persamaan (10)–(15).
5. Tabel kondisi saluran dan faktor kekasaran Manning (n) (lampiran 6).
6. *Kalkulator Desain Saluran – FAR* dapat diakses melalui link berikut:

[*Kalkulator Desain Saluran - FAR*](#)

Satuan

Satuan yang digunakan dalam perhitungan adalah satuan standar internasional (SI) Dimensi panjang [L] menggunakan meter (m), dimesi waktu [T] menggunakan detik (s atau dt.), dimesi massa [M] menggunakan satuan kg.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diucapkan kepada PT. AB Omah Geo atas segala bentuk dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

6. SEKILAS MENGENAI PENULIS KORESPONDEN

Penulis koresponden merupakan seorang *engineer* dan peneliti dengan latar belakang pendidikan teknik geologi. Spesialisasi keahlian penulis adalah dalam bidang hidrologi, hidrogeologi, dan geoteknik. Pada saat karya tulis ini disusun, penulis sedang menempuh pendidikan pada program pascasarjana Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] _____ Guideline-Watercourse Diversions.pdf Retrieved September 28, 2018, from Department of Natural Resources and Mines: http://www.dnrm.qld.gov.au/_data/assets/pdf_file/0015/212424/guideline-watercourse-diversions.pdf
- [2] _____ Water Act. Retrieved September 26, 2018, from Austlii: http://www.austliiex10du.au/cgi-bin/download.cgi/au/legis/cth/consol_act/wa200783
- [3] Erskine, W. Channel Response to Large-scale River Training Works: Hunter River, Australia. *Regulation Rivers Resource Mining*. 1992; 7: 261–278.
- [4] McEwan, A.. *The Failure of and Remedials to a River Diversion for an Opencast Mine in The Witbank Coalfields of South Africa*. *Mine Water and Environment*. Sevilla, Spain: IMWA Congress. 1999; 79–85.
- [5] Shao, X., & Wang, H. *Interbasin transfer projects and their implications : A China case study*. *Intl. J. River Basin Management*. 2003. 1(1):5–14.
- [6] Soar, P., & Thorne, C. *Channel Restoration Design for Meandering Rivers*. Vicksburg, MS, USA: U.S Army Corps of Engineers. 2011
- [7] Yevjevich, V. *Water diversions and Interbasin Transfers*. *Water International*, 2001: 26, 342–348.
- [8] Flatley, A., Rutherford, I. D., & Hardie, R. *River Channel Relocation: Problems and Prospects*. *Water*. 2018; 10: 1360.
- [9] Supandi, S., Riyadi, F. A., & Purnomo, S. Study Geolistrik Untuk Mengidentifikasi Kedudukan Lumpur dan Air Dalam Rangka Optimalisasi Timbunan Lowwall. *ReTTI*. 2016. 352-356.
- [10] Supandi, S., Zakaria, Z., Sukiyah, E., & Sudrajat, A. The Influence of Kaolinite- Illite Toward Mechanical Properties of Claystone. *Open Geosci*. 2019; 11, 440-446.
- [11] Supandi, Zakaria, Z., Sukiyah, E., & Sudradjat, A. The Correlation Of Exposure Time And Claystone Properties At The Warukin Formation Indonesia. *International Journal of GEOMATE*. 2018; 15(52), 160-167

- [12] Chow, V. T. Open-Channnel Hidraulics. Tokyo: Kogakusha Company & McGraw-Hill Book Company. 1959
- [13] McKay, S. K., & J. C. Fischenich. Robust prediction of hydraulic roughness., Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. Report Number: ERDC/CHL CHETN-VII-11. 2011
- [14] Strickler, A., 1923: Beitrage zur frage der geschwindigkeitsformel und der rauhigkeitszahlen ffir strome, kanale und geschlossene leitungen. Mitteilungen des eidgen6ssischer Amtes fur Wasserwirtschaft, Bern, Switzerland, n. 16.
- [15] Meyer-Peter, E., & Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. In IAHSR 2nd meeting, Stockholm, appendix 2. IAHR.
- [16] Wong, M., Parker, G., 2006. Reanalysis and correction of bedload relation of Meyer-Peter and Müller using their own database. Journal of Hydraulic Engineering, 132(11), 1159-1168.
- [17] Maynard 1991 Maynard, S. T. (1991). Flow resistance of riprap. Journal of Hydraulic Engineering, 117(6), 687-696.

LAMPIRAN

Jumlah: 6 Halaman

LAMPIRAN 1 CONTOH KASUS

Sebagai contoh kasus. Sebuah penampang saluran tipe ***trapezoidal*** dengan komponen :

$$A = (b + x)y, \quad P = b + 2(z), \quad R = \frac{A}{P}$$

Hubungan antar dimensi saluran :

$$b = y \cos(\Theta), \quad z = \frac{y}{\tan \Theta}$$

$$\text{Jika : } y=2 \text{ m dan } \Theta=60^\circ, \sin \Theta = \frac{3^{1/2}}{2}, \cos \Theta = \frac{1}{2}, \tan \Theta = 3^{1/2}$$

$$\text{maka } A = y \cos(\Theta) + 2 \left(\frac{y}{\tan \Theta} \right) = 1 + 4.6188 \text{ m, Rasio } y : P = 2 : 5.6188$$

Sehingga : $P(y) = 2.8094 y$

$$A = (b + x)y = \left(y \cos(\Theta) + \frac{y}{\tan \Theta} \right) y \quad \text{disubtitusikan ke dalam} \quad R = \frac{A}{P}, \quad \text{Sehingga:}$$

$$R = \frac{(1+1.1547).2}{2.8094} = 4.3094 \text{ m, Rasio } y : R = 2 : 0.76696 \text{ Sehingga, rasio}$$

$$R(y) = 0.3835 y \text{ dan } P(y) = 2.8094 y$$

$$\text{Nilai } R(y) \text{ dan } P(y) \text{ disubtitusikan ke dalam persamaan } = \frac{A}{P},$$

$$A = R \cdot P = 0.3835 y \cdot 2.8094 y, \quad \text{Sehingga } A(y) = 1.07735 y^2$$

Formula Chezy

$$Q = C \cdot A \cdot (R i)^{\left(\frac{1}{2}\right)}$$

$$\frac{Q^2}{C^2 \cdot i} = A^2 R = (1.07735 y^2)^2 (0.3835 y) = 0.4451 y^5$$

$$\text{Sehingga } y = \left(\frac{Q^2}{0.4451 C^2 \cdot i} \right)^{\left(\frac{1}{5}\right)}, \alpha = 0.4451$$

Formula Manning

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$\frac{Q n}{i^{\left(\frac{1}{2}\right)}} = A \cdot (R)^{\frac{2}{3}} = 1.07735 y^2 (0.3835 y)^{\frac{2}{3}} = 0.5687 y^{(3/8)}$$

$$\text{Sehingga } y = \left(\frac{Q n}{0.5687 i^{\left(\frac{1}{2}\right)}} \right)^{\frac{3}{8}}, \alpha = 0.5687$$

Formula Darcy-Weisbach

$$Q = A \left(\frac{8g \cdot R \cdot i}{f} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{Q^2 f}{8g i} = A^2 R = (1.07735 y^2)^2 (0.3835 y) = 0.4451 y^5$$

$$\text{Sehingga } y = \left(\frac{Q^2}{0.4451 8g \cdot i} \right)^{\left(\frac{1}{5}\right)}, \alpha = 0.4451$$

LAMPIRAN 2
TABEL VERIVIKASI SALURAN RECTANGULAR

TIPE SALURAN RECTANGULAR																	
<i>i</i>	<i>n</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	$((Qn)^{1/2}) = 2^{(2/6)} y^{(8/3)}$		Θ	$y^{*(8/3)}$	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Manning	
			Q (m ³ /s)	v (m/s)													
0.0014	0.0347	100	91.709	90	72.789	4.992	0.000	4.992	9.984	9.984	49.840	19.968	2.496	1.580	100.000	2.006	
		TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
<i>i</i>	<i>C</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	$(Q^2/(C^2 \cdot i)) = (2y)^{5/6}$	Θ	y^{*5}	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Chezy		
0.0014	35.9985	100	5401.695	90	2700.848	4.856	0.000	4.856	9.712	9.712	47.166	19.425	2.428	1.558	100.000	2.120	
		TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
<i>i</i>	<i>f</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	$Q^{2f/(8gi)} = (2y)^{5/6}$	Θ	y^{*5}	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Darcy-Weisbach		
0.0014	0.0605	100	5401.695	90	2700.848	4.856	0.000	4.856	9.712	9.712	47.166	19.425	2.428	1.558	100.000	2.120	
		TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	
FORMULA MANNING																	
<i>i</i>	<i>n</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	$((Qn)^{1/2}) = 2^{(2/6)} y^{(8/3)}$	Θ	$y^{*(8/3)}$	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Manning		
0.0014	0.0347	5	4.585	90	3.639	1.623	0.000	1.623	3.247	3.247	5.270	6.493	0.812	0.901	5.000	0.949	
0.0014	0.0347	10	9.171	90	7.279	2.105	0.000	2.105	4.210	4.210	8.863	8.420	1.053	1.026	10.000	1.128	
0.0014	0.0347	15	13.756	90	10.918	2.451	0.000	2.451	4.902	4.902	12.013	9.803	1.225	1.107	15.000	1.249	
0.0014	0.0347	20	18.342	90	14.558	2.730	0.000	2.730	5.460	5.460	14.906	10.920	1.365	1.168	20.000	1.342	
0.0014	0.0347	25	22.927	90	18.197	2.968	0.000	2.968	5.937	5.937	17.621	11.873	1.484	1.218	25.000	1.419	
0.0014	0.0347	30	27.513	90	21.837	3.178	0.000	3.178	6.357	6.357	20.203	12.713	1.589	1.261	30.000	1.485	
0.0014	0.0347	35	32.098	90	25.476	3.367	0.000	3.367	6.735	6.735	22.679	13.470	1.684	1.298	35.000	1.543	
0.0014	0.0347	40	36.684	90	29.116	3.540	0.000	3.540	7.081	7.081	25.068	14.161	1.770	1.330	40.000	1.596	
0.0014	0.0347	45	41.269	90	32.755	3.700	0.000	3.700	7.400	7.400	27.384	14.801	1.850	1.360	45.000	1.643	
0.0014	0.0347	50	45.854	90	36.395	3.849	0.000	3.849	7.699	7.699	29.655	15.397	1.925	1.387	50.000	1.687	
0.0014	0.0347	55	50.440	90	40.034	3.989	0.000	3.989	7.979	7.979	31.831	15.958	1.995	1.412	55.000	1.728	
0.0014	0.0347	60	55.025	90	43.674	4.122	0.000	4.122	8.244	8.244	33.978	16.487	2.061	1.436	60.000	1.766	
0.0014	0.0347	65	59.611	90	47.313	4.247	0.000	4.247	8.495	8.495	36.080	16.989	2.124	1.457	65.000	1.802	
0.0014	0.0347	70	64.196	90	50.953	4.367	0.000	4.367	8.734	8.734	38.142	17.468	2.184	1.478	70.000	1.835	
0.0014	0.0347	75	68.782	90	54.592	4.482	0.000	4.482	8.963	8.963	40.168	17.926	2.241	1.497	75.000	1.867	
0.0014	0.0347	80	73.367	90	58.232	4.591	0.000	4.591	9.183	9.183	42.160	18.365	2.296	1.515	80.000	1.898	
0.0014	0.0347	85	77.953	90	61.871	4.697	0.000	4.697	9.394	9.394	44.121	18.787	2.348	1.532	85.000	1.927	
0.0014	0.0347	90	82.538	90	65.510	4.799	0.000	4.799	9.597	9.597	46.054	19.194	2.399	1.549	90.000	1.954	
0.0014	0.0347	95	87.123	90	69.150	4.897	0.000	4.897	9.794	9.794	47.959	19.588	2.448	1.565	95.000	1.981	
0.0014	0.0347	100	91.709	90	72.789	4.992	0.000	4.992	9.984	9.984	49.840	19.968	2.496	1.580	100.000	2.006	
FORMULA CHEZY																	
<i>i</i>	<i>C</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	$(Q^2/(C^2 \cdot i)) = (2y)^{5/6}$	Θ	y^{*5}	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Chezy		
0.0014	27.2160	5	13.504	90	6.752	1.465	0.000	1.465	2.930	2.930	4.293	5.861	0.733	0.856	5.000	1.165	
0.0014	29.2093	10	54.017	90	27.008	1.933	0.000	1.933	3.867	3.867	7.475	7.733	0.967	0.983	10.000	1.538	
0.0014	30.3043	15	121.538	90	60.769	2.274	0.000	2.274	4.547	4.547	10.340	9.095	1.137	1.066	15.000	1.451	
0.0014	31.1060	20	216.068	90	108.034	2.551	0.000	2.551	5.102	5.102	13.015	10.204	1.276	1.129	20.000	1.537	
0.0014	31.7424	25	337.606	90	168.803	2.789	0.000	2.789	5.578	5.578	15.559	11.157	1.395	1.181	25.000	1.607	
0.0014	32.2720	30	486.153	90	243.076	3.000	0.000	3.000	6.000	6.000	18.002	12.001	1.500	1.225	30.000	1.666	
0.0014	32.7267	35	661.708	90	330.854	3.191	0.000	3.191	6.382	6.382	20.365	12.764	1.596	1.263	35.000	1.719	
0.0014	33.1258	40	864.271	90	432.136	3.366	0.000	3.366	6.732	6.732	22.661	13.464	1.683	1.297	40.000	1.765	
0.0014	33.4818	45	1093.843	90	546.922	3.528	0.000	3.528	7.057	7.057	24.900	14.114	1.764	1.328	45.000	1.807	
0.0014	33.8035	50	1350.424	90	675.212	3.680	0.000	3.680	7.361	7.361	27.090	14.721	1.840	1.357	50.000	1.846	
0.0014	34.0972	55	1634.013	90	817.006	3.823	0.000	3.823	7.647	7.647	29.236	15.293	1.912	1.383	55.000	1.881	
0.0014	34.3675	60	1944.610	90	972.303	3.959	0.000	3.959	7.918	7.918	31.344	15.835	1.979	1.407	60.000	1.914	
0.0014	34.6181	65	2282.216	90	1141.108	4.088	0.000	4.088	8.175	8.175	33.416	16.350	2.044	1.430	65.000	1.945	
0.0014	34.8518	70	2646.831	90	1323.415	4.211	0.000	4.211	8.421	8.421	35.458	16.842	2.105	1.451	70.000	1.974	
0.0014	35.0707	75	3038.454	90	1519.227	4.328	0.000	4.328	8.657	8.657	37.470	17.313	2.164	1.471	75.000	2.002	
0.0014	35.2767	80	3457.085	90	1728.543	4.442	0.000	4.442	8.883	8.883	39.455	17.766	2.221	1.490	80.000	2.028	
0.0014	35.4714	85	3902.725	90	1951.362	4.551	0.000	4.551	9.101	9.101	41.416	18.202	2.275	1.508	85.000	2.052	
0.0014	35.6559	90	4375.373	90	2187.687	4.656	0.000	4.656	9.312	9.312	43.353	18.623	2.328	1.526	90.000	2.076	
0.0014	35.8513	95	4875.030	90	2437.515	4.758	0.000	4.758	9.515	9.515	45.270	19.030	2.379	1.542	95.000	2.099	
0.0014	35.9985	100	5401.695	90	2700.848	4.856	0.000	4.856	9.712	9.712	47.166	19.425	2.428	1.558	100.000	2.120	
FORMULA DARCY-WEISBACH																	
<i>i</i>	<i>f</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	$Q^{2f/(8gi)} = (2y)^{5/6}$	Θ	y^{*5}	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Darcy-Weisbach		
0.0014	0.1059	5	23.626	90	11.813	1.639	0.000	1.639	3.277	3.277	5.370	6.554	0.819	0.905	5.000	0.931	
0.0014	0.0919	10	82.046														

LAMPIRAN 3
TABEL VERIVIKASI SALURAN TRAPEZOID

TIPE SALURAN TRAPEZOID																
i	n	Q (m ³ /s)	$((Qn)^{1/2}) = \frac{Q}{\alpha y^5}$	θ	$y^{*8/3}$	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Manning	
															Q (m ³ /s)	v (m/s)
0.0014	0.0347	100	91.709	60	161.272	6.727	3.884	7.768	3.364	11.132	48.756	18.899	2.580	1.834	100.000	2.051
		TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
i	C	Q (m ³ /s)	$(Q^2/C^2)i = \frac{Q^2}{\alpha y^5}$	θ	y^{*5}	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Chezy	
0.0014	36.2872	100	5316.090	60	11943.601	6.538	3.775	7.549	3.269	10.818	46.048	18.367	2.507	1.808	100.000	2.172
		TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
i	f	Q (m ³ /s)	$Q^{2f}/(8g) = \frac{Q^2}{\alpha y^5}$	θ	y^{*5}	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Darcy-Weisbach	
0.0014	0.0596	100	5316.090	60	11943.601	6.538	3.775	7.549	3.269	10.818	46.048	18.367	2.507	1.808	100.000	2.172
		TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
FORMULA MANNING																
i	n	Q (m ³ /s)	$((Qn)^{1/2}) = \frac{Q}{\alpha y^5}$	θ	$y^{*8/3}$	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Manning	
															Q (m ³ /s)	v (m/s)
0.0014	0.0347	5	4.585	60	8.064	2.188	1.263	2.526	1.094	3.620	5.155	6.146	0.839	1.046	5.000	0.970
0.0014	0.0347	10	9.171	60	16.127	2.837	1.638	3.276	1.418	4.694	8.670	7.970	1.088	1.191	10.000	1.153
0.0014	0.0347	15	13.756	60	24.191	3.303	1.907	3.814	1.651	5.465	11.752	9.279	1.267	1.285	15.000	1.276
0.0014	0.0347	20	18.342	60	32.254	3.679	2.124	4.248	1.839	6.084	14.581	10.336	1.411	1.356	20.000	1.372
0.0014	0.0347	25	22.927	60	40.318	4.000	2.309	4.619	2.000	6.619	17.238	11.238	1.534	1.414	25.000	1.450
0.0014	0.0347	30	27.513	60	48.382	4.283	2.473	4.946	2.142	7.087	19.764	12.033	1.642	1.463	30.000	1.518
0.0014	0.0347	35	32.098	60	56.445	4.538	2.620	5.240	2.269	7.509	22.186	12.749	1.740	1.506	35.000	1.578
0.0014	0.0347	40	36.684	60	64.509	4.771	2.755	5.509	2.385	7.895	24.523	13.404	1.830	1.545	40.000	1.631
0.0014	0.0347	45	41.269	60	72.572	4.986	2.879	5.758	2.493	8.251	26.788	14.009	1.912	1.579	45.000	1.680
0.0014	0.0347	50	45.854	60	80.636	5.187	2.995	5.990	2.594	8.584	28.990	14.573	1.989	1.610	50.000	1.725
0.0014	0.0347	55	50.440	60	88.700	5.376	3.104	6.208	2.688	8.896	31.139	15.104	2.062	1.640	55.000	1.766
0.0014	0.0347	60	55.025	60	96.763	5.554	3.207	6.414	2.777	9.191	33.238	15.605	2.130	1.667	60.000	1.805
0.0014	0.0347	65	59.611	60	104.827	5.724	3.305	6.609	2.862	9.471	35.295	16.080	2.195	1.692	65.000	1.842
0.0014	0.0347	70	64.196	60	112.890	5.885	3.398	6.795	2.943	9.733	37.312	16.533	2.257	1.715	70.000	1.876
0.0014	0.0347	75	68.782	60	120.954	6.039	3.487	6.974	3.020	9.993	39.294	16.967	2.316	1.738	75.000	1.909
0.0014	0.0347	80	73.367	60	129.018	6.187	3.572	7.144	3.094	10.238	41.242	17.382	2.373	1.759	80.000	1.940
0.0014	0.0347	85	77.953	60	137.081	6.329	3.654	7.309	3.165	10.473	43.161	17.782	2.427	1.779	85.000	1.969
0.0014	0.0347	90	82.538	60	145.145	6.467	3.733	7.467	3.233	10.700	45.051	18.167	2.480	1.798	90.000	1.998
0.0014	0.0347	95	87.123	60	153.208	6.599	3.810	7.620	3.300	10.919	46.916	18.539	2.531	1.816	95.000	2.025
0.0014	0.0347	100	91.709	60	161.272	6.727	3.884	7.768	3.364	11.132	48.756	18.899	2.580	1.834	100.000	2.051
FORMULA CHEZY																
i	C	Q (m ³ /s)	$(Q^2/C^2)i = \frac{Q^2}{\alpha y^5}$	θ	y^{*5}	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Chezy	
															Q (m ³ /s)	v (m/s)
0.0014	27.4680	5	23.194	60	52.111	2.205	1.273	2.546	1.102	3.648	5.238	6.194	0.846	1.050	5.000	0.955
0.0014	29.4436	10	80.745	60	181.410	2.830	1.634	3.267	1.415	4.682	8.626	7.950	1.085	1.189	10.000	1.159
0.0014	30.5473	15	168.785	60	379.208	3.279	1.893	3.787	1.640	5.426	11.585	9.213	1.258	1.280	15.000	1.295
0.0014	31.3554	20	284.795	60	639.846	3.641	2.102	4.204	1.820	6.025	14.282	10.229	1.396	1.349	20.000	1.400
0.0014	31.9969	25	427.328	60	960.073	3.949	2.280	4.560	1.974	6.534	16.799	11.094	1.514	1.405	25.000	1.488
0.0014	32.5308	30	595.320	60	1337.498	4.219	2.436	4.872	2.110	6.982	19.181	11.854	1.618	1.452	30.000	1.564
0.0014	32.9892	35	787.937	60	1770.249	4.463	2.577	5.153	2.231	7.385	21.457	12.538	1.711	1.494	35.000	1.631
0.0014	33.3914	40	1004.496	60	2256.790	4.685	2.705	5.410	2.342	7.752	23.646	13.162	1.797	1.531	40.000	1.692
0.0014	33.7503	45	1244.423	60	2795.830	4.894	2.823	5.646	2.445	8.091	25.761	13.738	1.875	1.564	45.000	1.747
0.0014	34.0746	50	1507.220	60	3386.255	5.081	2.933	5.867	2.540	8.407	27.813	14.274	1.948	1.594	50.000	1.798
0.0014	34.3706	55	1792.455	60	4027.089	5.269	3.037	6.074	2.630	8.704	29.809	14.778	2.017	1.622	55.000	1.845
0.0014	34.6431	60	2099.742	60	4717.467	5.429	3.135	6.269	2.715	8.984	31.757	15.253	2.082	1.648	60.000	1.889
0.0014	34.8957	65	2428.734	60	5456.609	5.590	3.227	6.454	2.795	9.249	33.661	15.704	2.144	1.672	65.000	1.931
0.0014	35.1312	70	2779.118	60	6243.813	5.742	3.315	6.631	2.871	9.502	35.525	16.133	2.202	1.694	70.000	1.970
0.0014	35.3519	75	3150.608	60	7078.436	5.888	3.400	6.799	2.944	9.743	37.354	16.543	2.258	1.716	75.000	2.008
0.0014	35.5596	80	3542.941	60	7959.886	6.028	3.480	6.961	3.014	9.975	39.149	16.935	2.312	1.736	80.000	2.043
0.0014	35.7558	85	3955.873	60	8887.617	6.163	3.558	7.116	3.081	10.197	40.914	17.313	2.363	1.755	85.000	2.078
0.0014	35.9418	90	4389.181	60	9861.124	6.292	3.633	7.265	3.146	10.411	42.651	17.677	2.413	1.774	90.000	2.110
0.0014	36.1186	95	4842.652	60	10879.933	6.417	3.705	7.410	3.208	10.618	44.362	18.028	2.461	1.791	95.000	2.141
0.0014	36.2872	100	5316.090	60	11943.601	6.538	3.775	7.549	3.269	10.818	46.048	18.367	2.507	1.808</td		

TABEL VERIVIKASI SALURAN TRIANGULAR
TIPE SALURAN
TRIANGULAR

<i>i</i>	<i>n</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	((Qn)f^(1/2)) = αy^5	θ	y*(8/3)	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Manning		
															Q (m ³ /s)	v (m/s)	
0.0014	0.0347	100	91,709	60	400,263	9.460	5,462	10,923	0,000	10,923	51,665	21,846	2,365	2,175	100,000	1,936	
				TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	0.577	1,155	0,000	1,155	5,462	2,309	0,250		

<i>i</i>	<i>C</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	(Q ² /(C ² i)) = αy^5	θ	y ⁵	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Chezy		
															Q (m ³ /s)	v (m/s)	
0.0014	35.5315	100	5544,595	60	66535,140	9.217	5,322	10,643	0,000	10,643	49,052	21,287	2,304	2,147	100,000	2,039	
				TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	0.563	1,125	0,000	1,125	5,185	2,250	0,244		

<i>i</i>	<i>f</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	Q ^{2f/(8g)}	θ	y ⁵	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Darcy-Weisbach		
															Q (m ³ /s)	v (m/s)	
0.0014	0.0621	100	5544,595	60	66535,140	9.217	5,322	10,643	0,000	10,643	49,052	21,287	2,304	2,147	100,000	2,039	
				TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	0.563	1,125	0,000	1,125	5,185	2,250	0,244		

FORMULA MANNING																
<i>i</i>	<i>n</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	((Qn)f^(1/2)) = αy^5	θ	y*(8/3)	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Manning	
															Q (m ³ /s)	v (m/s)
0.0014	0.0347	5	4,585	60	20,013	3,076	1,776	3,552	0,000	3,552	5,463	7,104	0,769	1,240	5,000	0,915
0.0014	0.0347	10	9,171	60	40,026	3,989	2,303	4,606	0,000	4,606	9,188	9,213	0,997	1,412	10,000	1,088
0.0014	0.0347	15	13,756	60	60,039	4,644	2,681	5,363	0,000	5,363	12,453	10,725	1,161	1,524	15,000	1,205
0.0014	0.0347	20	18,342	60	80,053	5,173	2,987	5,974	0,000	5,974	15,452	11,947	1,293	1,608	20,000	1,294
0.0014	0.0347	25	22,927	60	100,066	5,625	3,247	6,495	0,000	6,495	18,266	12,899	1,406	1,677	25,000	1,369
0.0014	0.0347	30	27,513	60	120,079	6,023	3,477	6,955	0,000	6,955	20,943	13,909	1,506	1,735	30,000	1,432
0.0014	0.0347	35	32,098	60	140,092	6,381	3,684	7,368	0,000	7,368	23,510	14,737	1,595	1,786	35,000	1,489
0.0014	0.0347	40	36,684	60	160,105	6,709	3,873	7,747	0,000	7,747	25,986	15,494	1,677	1,832	40,000	1,539
0.0014	0.0347	45	41,269	60	180,118	7,012	4,048	8,097	0,000	8,097	28,386	16,193	1,753	1,872	45,000	1,585
0.0014	0.0347	50	45,854	60	200,132	7,294	4,211	8,423	0,000	8,423	30,720	16,846	1,824	1,910	50,000	1,628
0.0014	0.0347	55	50,440	60	220,145	7,560	4,365	8,729	0,000	8,729	32,997	17,459	1,890	1,944	55,000	1,667
0.0014	0.0347	60	55,025	60	240,158	7,811	4,509	9,019	0,000	9,019	35,222	18,038	1,953	1,976	60,000	1,703
0.0014	0.0347	65	59,611	60	260,171	8,049	4,647	9,294	0,000	9,294	37,401	18,588	2,012	2,006	65,000	1,738
0.0014	0.0347	70	64,196	60	280,184	8,275	4,778	9,556	0,000	9,556	39,539	19,111	2,069	2,034	70,000	1,770
0.0014	0.0347	75	68,782	60	300,197	8,492	4,903	9,806	0,000	9,806	41,638	19,612	2,123	2,061	75,000	1,801
0.0014	0.0347	80	73,367	60	320,210	8,700	5,023	10,046	0,000	10,046	43,703	20,093	2,175	2,086	80,000	1,831
0.0014	0.0347	85	77,953	60	340,224	8,900	5,139	10,277	0,000	10,277	45,736	20,555	2,225	2,110	85,000	1,858
0.0014	0.0347	90	82,538	60	360,237	9,093	5,250	10,500	0,000	10,500	47,740	21,000	2,273	2,132	90,000	1,885
0.0014	0.0347	95	87,123	60	380,250	9,280	5,358	10,715	0,000	10,715	49,715	21,430	2,320	2,154	95,000	1,911
0.0014	0.0347	100	91,709	60	400,263	9,460	5,462	10,923	0,000	10,923	51,665	21,846	2,365	2,175	100,000	1,936

FORMULA CHEZY																
<i>i</i>	<i>C</i>	<i>Q</i> (m ³ /s)	(Q ² /(C ² i)) = αy^5	θ	y ⁵	y (m)	x (m)	z (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Chezy	
															Q (m ³ /s)	v (m/s)
0.0014	26.8091	5	24,349	60	292,183	3,113	1,797	3,594	0,000	3,594	5,594	7,188	0,778	1,248	5,000	0,894
0.0014	28.8276	10	84,233	60	101,079	3,990	2,303	4,607	0,000	4,607	9,190	9,214	0,997	1,412	10,000	1,088
0.0014	29.9112	15	176,040	60	212,484	4,623	2,669	5,339	0,000	5,339	12,341	10,677	1,156	1,520	15,000	1,215
0.0014	30,7025	20	297,037	60	356,441	5,133	2,964	5,927	0,000	5,927	15,214	11,855	1,283	1,602	20,000	1,315
0.0014	31,3307	25	445,696	60	534,351	5,567	3,214	6,429	0,000	6,429	17,895	12,857	1,392	1,668	25,000	1,397
0.0014	31,8534	30	620,909	60	745,905	5,949	3,435	6,869	0,000	6,869	20,433	13,739	1,487	1,725	30,000	1,468
0.0014	32,3022	35	821,805	60	986,162	6,292	3,633	7,265	0,000	7,265	22,857	14,531	1,573	1,774	35,000	1,531
0.0014	32,6961	40	1047,673	60	1257,077	6,605	3,813</td									

LAMPIRAN 5

TAMPILAN HALAMAN INPUT

PILIH METODE PERHITUNGAN	Debit (Q) Rencana	Gradien Alas Saluran (i)
Chezy	100	0.001429

1

Koefisen Koreksi	n	C
	0.00867	121.04545

2

Pilih Kondisi Saluran
Rentang Nilai :
atau
Hitung dari ukuran partikel alas saluran d - (m)
Metode : Skala Wentworth
Ukuran Partikel Input : Lanau

(Tentukan Θ untuk $b = y \cdot \cos(\Theta)$
Lebar Alas Saluran ($b = y \cdot \cos(\Theta)$)

Notes : Pilih Metode dan Masukkan Nilai
Ukuran Partikel (d)

Geometri Saluran		
• TRAPEZOID		
○ RECTANGULAR		
○ TRIANGULAR		
$\Theta (\circ)$	α	
45		
(Tentukan Θ untuk $b = y \cdot \cos(\Theta)$ Lebar Alas Saluran ($b = y \cdot \cos(\Theta)$)		

LIHAT HASIL		
--------------------	--	--

TAMPILAN HALAMAN HASIL / SUMMARY

Metode / Formula	Debit Rencana (m ³ /s)
Chezy	100
Geometri Saluran	Gradien Saluran (i)
Trapezoid	1.4296.E-03
Lebar Alas (Base) Saluran ($b = y \cdot \cos(45^\circ)$)	
Metode Penentuan Koefisien n	
Skala Wentworth	
Koefisien (n)	Koefisien (C)
0.00867	121.04545
Ukuran Butir Partikel (meter)	0.0000625
Lanau	UBAH PARAMETER

Buat Model Penampang

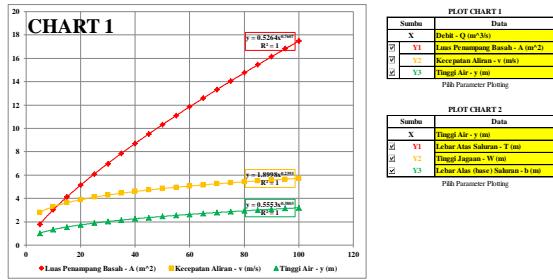
TRAPEZOID

RECTANGULAR

TRIANGULAR

RESET

Q: 100.00 (m³/s)
v: 5.71 (m/s)
A: 17.51 (m²)



SUMMARY UNTUK TIAP GEOMETRI DAN FORMULA												
Geometry	Formula	y (m)	x (m)	a (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Q (m ³ /s)	v (m/s)
Rectangular	Manning	2.968	0.000	2.968	5.937	17.621	11.873	1.484	1.218	100.000	5.675	
Rectangular	Chezy	2.996	0.000	2.996	5.979	17.877	11.959	1.495	1.223	100.000	5.594	
Rectangular	Darcy-Weisbach	2.990	0.000	2.990	5.979	17.877	11.959	1.495	1.223	100.000	5.594	
Trapezoid	Manning	3.177	3.177	4.494	2.247	8.602	17.236	11.234	1.534	1.260	100.000	5.802
Trapezoid	Chezy	3.202	3.202	4.520	2.264	8.669	17.507	11.322	1.546	1.265	100.000	5.712
Trapezoid	Darcy-Weisbach	3.205	3.202	4.520	2.264	8.669	17.507	11.322	1.546	1.265	100.000	5.712
Triangular	Manning	4.198	4.198	5.937	0.000	8.396	17.621	11.873	1.484	1.449	100.000	5.675
Triangular	Chezy	4.228	4.228	5.979	0.000	8.456	17.877	11.959	1.495	1.454	100.000	5.594
Triangular	Darcy-Weisbach	4.228	4.228	5.979	0.000	8.456	17.877	11.959	1.495	1.454	100.000	5.594

HASIL DARI PINTING

Geometry	Formula	y (m)	x (m)	a (m)	b (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	W (m)	Q (m ³ /s)	v (m/s)
Trapezoid	Chezy	3.202	3.202	4.529	2.264	8.669	17.507	11.322	1.546	1.265	100.000	5.712

LAMPIRAN 6
TABEL KONDISI SALURAN DAN KOEFISIEN KEKASARAN MANNING

A (MAIN CHANNELS)

a. clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0,025	0,030	0,033
b. clean, straight, full stage, no rifts or deep pools but more stones and weeds	0,030	0,035	0,040
c. clean, winding, some pools and shoals	0,033	0,040	0,045
d. clean, winding, some weeds and stones	0,035	0,045	0,050
e. clean, winding, lower stages, more ineffective slopes and sections	0,040	0,048	0,055
f. clean, winding, some weeds and more stones	0,045	0,050	0,060
g. sluggish reaches, weedy, deep pools	0,050	0,070	0,080
h. floodways with heavy stand of timber and underbrush	0,075	0,100	0,150

B. (MOUNTAIN STREAMS, NO VEGETATION ON CHANNEL)

a, bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0,030	0,040	0,050
b, bottom: cobbles with large boulders	0,040	0,050	0,070

C. (FLOODPLAINS)

a. Pasture, no brush : 1, short grass	0,025	0,030	0,035
a. Pasture, no brush : 2, high grass	0,030	0,035	0,050
b. Cultivated areas : 1, no crop	0,020	0,030	0,040
b. Cultivated areas : 2, mature row crops	0,025	0,035	0,045
b. Cultivated areas : 3, mature field crops	0,030	0,040	0,050
c. Brush : 1, scattered brush, heavy weeds	0,035	0,050	0,070
c. Brush : 2, light brush and trees, in winter	0,035	0,050	0,060
c. Brush : 3, light brush and trees, in summer	0,040	0,060	0,080
c. Brush : 4, medium to dense brush, in winter	0,045	0,070	0,110
c. Brush : 5, medium to dense brush, in summer	0,070	0,100	0,160
d. Trees : 1, dense willows, summer, straight	0,110	0,150	0,200
d. Trees : 2, cleared land with tree stumps, no sprouts	0,030	0,040	0,050
d. Trees : 3, cleared land with tree stumps, but with heavy growth of sprouts	0,050	0,060	0,080
d. Trees : 4, heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0,080	0,100	0,120
d. Trees : 5, same as above but flood stage reaching branches	0,100	0,120	0,160

D. (EXCAVATED OR DREDGED CHANNELS)

a. Earth, straight, and uniform : 1, clean, recently completed	0,016	0,018	0,020
a. Earth, straight, and uniform : 2, clean, after weathering	0,018	0,022	0,025
a. Earth, straight, and uniform : 3, gravel, uniform section, clean	0,022	0,025	0,03
a. Earth, straight, and uniform : 4, with short grass, few weeds	0,022	0,027	0,033
b. Earth winding and sluggish : 1, no vegetation	0,023	0,025	0,030
b. Earth winding and sluggish : 2, grass, some weeds	0,025	0,030	0,033
b. Earth winding and sluggish : 3, dense weeds or aquatic plants in deep channels	0,030	0,035	0,040
b. Earth winding and sluggish : 4, earth bottom and rubble sides	0,028	0,030	0,035
b. Earth winding and sluggish : 5, stony bottom and weedy banks	0,025	0,035	0,040
b. Earth winding and sluggish : 6, cobble bottom and clean sides	0,030	0,040	0,050
c. Dragline-excavated or dredged : 1, no vegetation	0,025	0,028	0,033
c. Dragline-excavated or dredged : 2, light brush on banks	0,035	0,050	0,060
d. Rock cuts : 1, smooth and uniform	0,025	0,035	0,040
d. Rock cuts : 2, jagged and irregular	0,035	0,040	0,050
e. Channels not maintained : 1, dense weeds, high as flow depth	0,050	0,080	0,120
e. Channels not maintained : 2, clean bottom, brush on sides	0,040	0,050	0,080
e. Channels not maintained : 3, clean bottom, brush on sides, highest stage of flow	0,045	0,070	0,110
e. Channels not maintained : 4, dense brush, high stage	0,080	0,100	0,140

E. (LINED OR CONSTRUCTED CHANNELS)

a. Cement : 1, neat surface	0,010	0,011	0,013
a. Cement : 2, mortar	0,011	0,013	0,015
b. Wood : 1, planed, untreated	0,010	0,012	0,014
b. Wood : 2, planed, creosoted	0,011	0,012	0,015
b. Wood : 3, unplaned	0,011	0,013	0,015
b. Wood : 4, plank with battens	0,012	0,015	0,018
b. Wood : 5, lined with roofing paper	0,010	0,014	0,017
c. Concrete : 1, trowel finish	0,011	0,013	0,015
c. Concrete : 2, float finish	0,013	0,015	0,016
c. Concrete : 3, finished, with gravel on bottom	0,015	0,017	0,020
c. Concrete : 4, unfinished	0,014	0,017	0,020
c. Concrete : 5, gunite, good section	0,016	0,019	0,023
c. Concrete : 6, gunite, wavy section	0,018	0,022	0,025
c. Concrete : 7, on good excavated rock	0,017	0,020	"no value"
c. Concrete : 8, on irregular excavated rock	0,022	0,027	"no value"
d. Concrete bottom float finish with sides of: 1, dressed stone in mortar	0,015	0,017	0,020
d. Concrete bottom float finish with sides of: 2, random stone in mortar	0,017	0,020	0,024
d. Concrete bottom float finish with sides of: 3, cement rubble masonry, plastered	0,016	0,020	0,024
d. Concrete bottom float finish with sides of: 4, cement rubble masonry	0,020	0,025	0,030
d. Concrete bottom float finish with sides of: 5, dry rubble or riprap	0,020	0,030	0,035
e. Gravel bottom with sides of: 1, formed concrete	0,017	0,020	0,025
e. Gravel bottom with sides of: 2, random stone mortar	0,020	0,023	0,026
e. Gravel bottom with sides of: 3, dry rubble or riprap	0,023	0,033	0,036
f. Brick : 1, glazed	0,011	0,013	0,015
f. Brick : 2, in cement mortar	0,012	0,015	0,018
g. Masonry : 1, cemented rubble	0,017	0,025	0,030
g. Masonry : 2, dry rubble	0,023	0,032	0,035
h. Dressed ashlar/stone paving :	0,013	0,015	0,017
i. Asphalt : 1, smooth	0,013	0,013	"no value"
i. Asphalt : 2, rough	0,016	0,016	"no value"
j. Vegetal lining	0,030	"no value"	0,500