

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

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, Darcy-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, Darcy-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, Darcy-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, Darcy-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 ekspose 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 hidrolis aliran (*flow resistance*) Chezy (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 hidrolis 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
Darcy-Weisbach (1840)	$Q = A \left(\frac{8g \cdot R \cdot i}{f} \right)^{1/2}$ $v = \left(\frac{8g \cdot R \cdot i}{f} \right)^{1/2}$	R = jari-jari hidrolis i = gradien alas saluran C = faktor tahanan Chezy

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

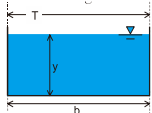
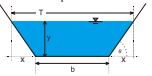
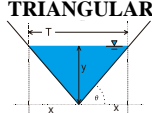
Dimodifikasi dari Chow [12], dan McKay & Fischenich [13]

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)
 <p>RECTANGULAR</p>	by	$a = y$ a = konstanta	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y
 <p>TRAPEZOIDAL</p>	$(b + x)y$ $x = \frac{y}{\tan \theta}$	$y \cdot \cos \theta$	$b + 2z$ $z = \frac{y}{\sin \theta}$	$\frac{(b + x)y}{b + 2 \left(\frac{y}{\sin \theta}\right)}$	$(b + 2x)$	$\frac{(b + x)y}{(b + 2x)}$
 <p>TRIANGULAR</p>	$\frac{1}{2}T \cdot y$	-	$z = \frac{y}{\sin \theta}$	$\frac{T \sin \theta}{4}$	$2 \cdot x$ $x = \frac{y}{\tan \theta}$	$\frac{T \tan \theta}{4}$

$R = A/P$, $D = A/T$, $w = (0.5y)^{(1/2)}$
 y = tinggi air pada penampang basah (m)
 z = panjang sisi diagonal (m)
 w = 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)	$n = 0.0431 \cdot d_{90}^{1/6}$	$0.38 < d_{90} < 28.65$ mm
Maynord (1991)	$n = 0.0439 \cdot d_{90}^{1/6}$	$4.57 < d_{90} < 134$ 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 & Fischenich [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:

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

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:

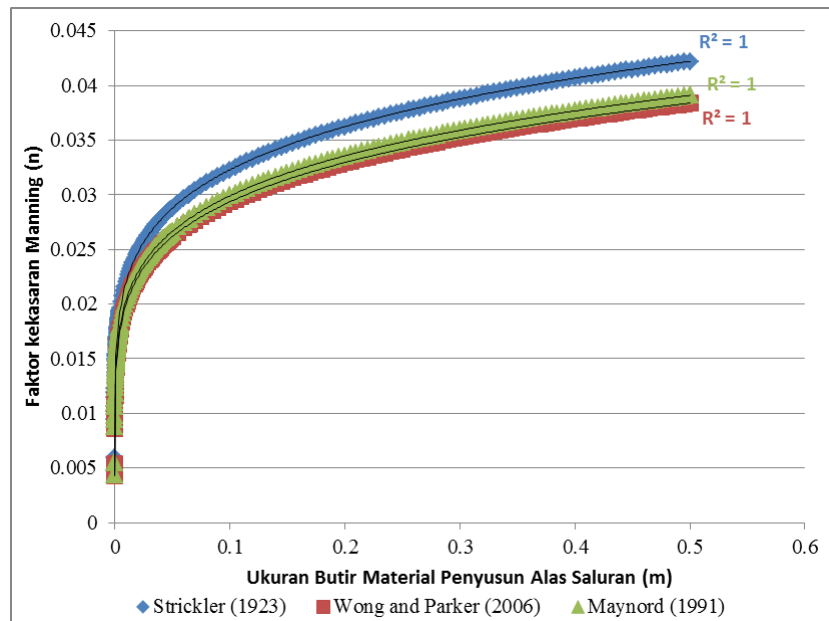
$$y = 1.5 \cdot n^{1/2} \text{ untuk } R < 1 \text{ m}$$

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

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Formula Baru Untuk Menghitung Faktor Kekasaran Manning

Perhitungan dan perbandingan dilakukan menggunakan formula dari Strickler, Wong-Parker, dan Maynord (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 $3.04 \times 10^{-04} - 2.71 \times 10^{-03}$. Berdasarkan perhitungan nilai n menggunakan formula Strickler berikut dengan formula Maynard diperoleh rentang deviasi sebesar $2.47 \times 10^{-04} - 2.20 \times 10^{-03}$. Berdasarkan perhitungan dari nilai n menggunakan formula Wong-Parker serta Maynard diperoleh rentang deviasi sebesar $5.66 \times 10^{-05} - 5.04 \times 10^{-04}$.

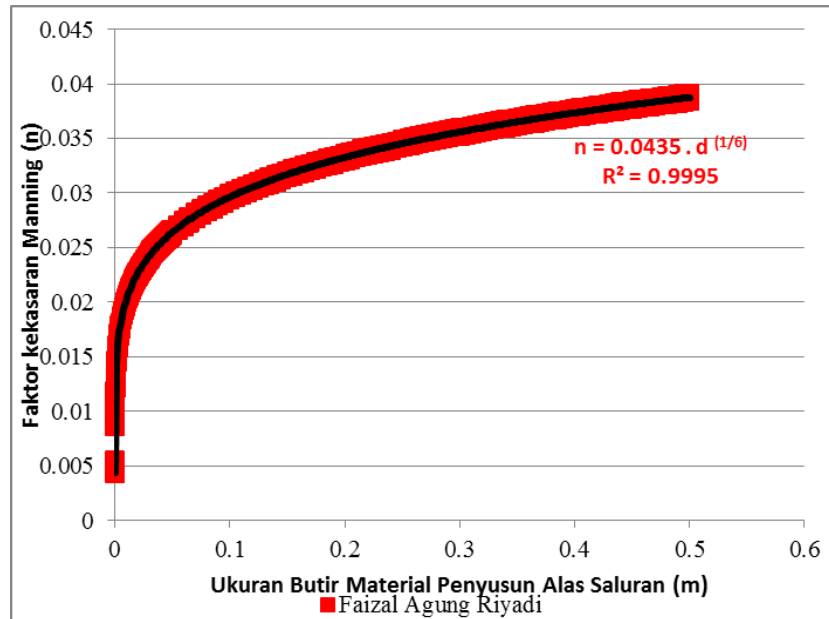
Meninjau rentang deviasi dari nilai n formula Wong-Parker dengan Maynard lebih kecil dibandingkan terhadap Strickler. Penulis mencoba untuk memperoleh formula baru untuk memperkirakan faktor kekasaran Manning (n) dengan rentang ukuran partikel (d) 0.004 mm (lempung) hingga 0.5 m (bongkah). Hal ini dilakukan 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:

$$n = 0.0435 \cdot d^{1/6} \tag{6}$$

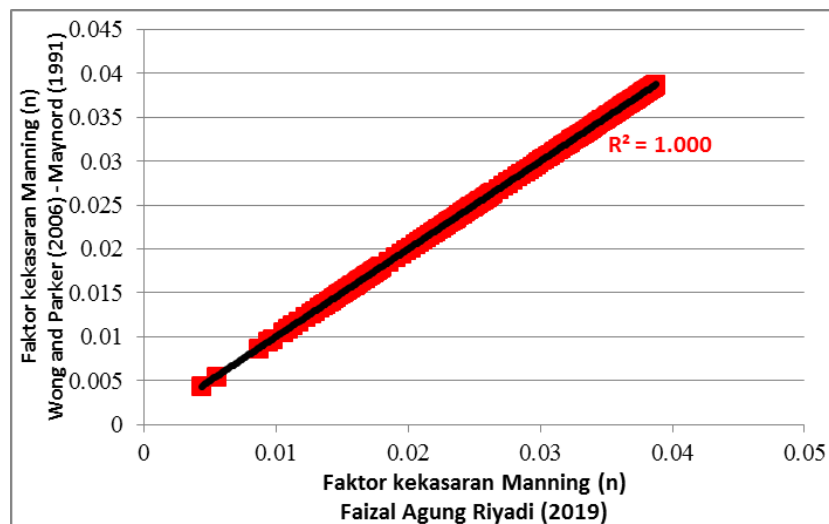
Di mana n merupakan faktor kekasaran Manning dan d adalah ukuran partikel material alas saluran.

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 mensubstitusikan 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, trapezoid, triangular*).

Lebar Alas Saluran (b)

Besarnya nilai saluran pada satuan 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 substitusi 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). Substitusi 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 fomula maning memperoleh koefisien α .

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

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

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

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 $5^0 - 60^0$ dengan koefisien α untuk nilai koefisien n ditunjukkan dalam Tabel 4. Untuk tipe saluran *rectangular*, substitusi terhadap formula Chezy, Darcy-Weisbach, dan Manning untuk alas saluran ($b = n \cdot y$, di mana a adalah *konstanta*). Berdasarkan hasil substitusi 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:

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

$$\text{Darcy-Weisbach (tipe } rectangular) \quad y = \left(\frac{Q^2 f}{\alpha \cdot 2 \cdot 8g i} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (11)$$

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

Pada tipe saluran *trapezoidal dan triangular*, berdasarkan hasil substitusi 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:

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

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

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

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

a untuk (a)*y	Rectangular						Trapezoid						Triangular					
	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	koef. α untuk a, y (8/3)	koef. α untuk a y ⁵				koef. α untuk a, y (8/3)	koef. α untuk a y ⁵	koef. α untuk a, y (8/3)	koef. α untuk a, y (8/3)							
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		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) = 60^0 , 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:

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

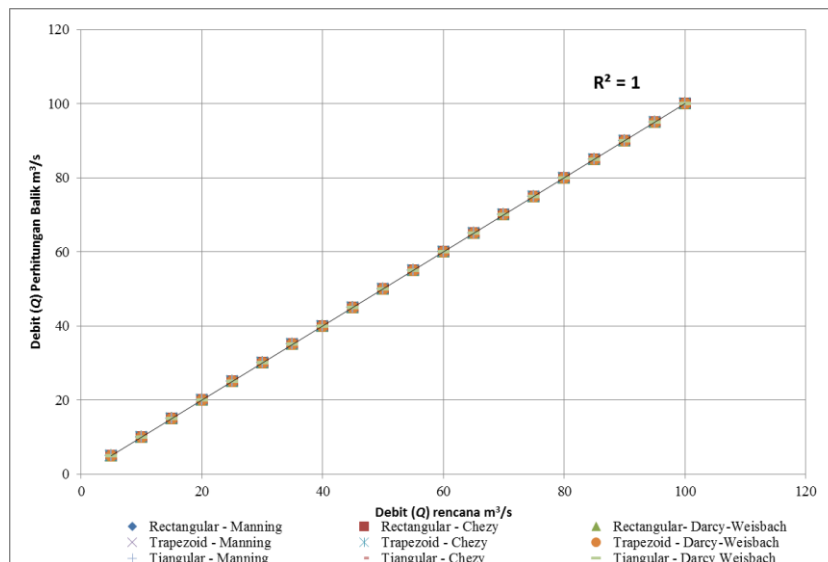
$$Q = C \cdot (R \cdot i)^{1/2} = \left(\frac{8g \cdot R \cdot i}{f}\right)^{1/2}$$

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 yaitu 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 ($Q - m^3/s$)
2. Kemiringan atau gradien alas saluran secara memanjang (*longitudinal*) ($i - m/m$)
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 ($Q - m^3/s$) dan mengisi nilai gradien alas saluran ($i - m/m$), 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, Darcy-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 $0.004 \text{ mm} - 256 \text{ mm}$ ($4 \times 10^{-6} - 0.256 \text{ m}$).

Substitusi 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.

Keterdapatan 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), dimensi waktu [T] menggunakan detik (s atau dt.), dimensi 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.austlii10du.au/cgi-bin/download.cgi/au/legis/cth/consol_act/wa200783
- [3] Erskine, W. Channel Response to Large-scale Ricer 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-Channel Hydraulics. 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 eidgenössischer 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 :

$$b = y \cos(\theta), \quad z = \frac{y}{\tan \theta}, \quad \text{dan } z = \frac{y}{\sin \theta}$$

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

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

$$\text{Sehingga : } P(y) = 2.8094 y$$

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

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

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

Nilai $R(y)$ dan $P(y)$ disubstitusikan 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

$$Q = C \cdot A \cdot (Ri)^{\frac{1}{2}}$$

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

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

Formula Manning

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

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

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

Formula Darcy-Weisbach

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

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

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

LAMPIRAN 3
TABEL VERIVIKASI SALURAN TRAPEZOID

LAMPIRAN 5

TAMPILAN HALAMAN INPUT

PILIH METODE PERHITUNGAN

Chezy

Koefisien Koreksi

n	0.00867
C	121.04545

Pilih Kondisi Saluran

Rentang Nilai : _____

atau

Hitung dari ukuran partikel alas saluran d - (m)

Metode :	Skala Wentworth
Ukuran Partikel	Input : _____
	Pilih : Lanau

Debit (Q) Rencana	Gradien Alas Saluran (i)
100	0.001429

2

Geometri Saluran

TRAPEZOID

RECTANGULAR

TRIANGULAR

Θ (°)	α
45	

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

LIHAT HASIL

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

<-- Pilih Metode untuk menghitung Koefisien Manning (n)
 <-- Masukkan nilai ukuran partikel penyusun alas saluran (d) (meter)
 <-- Atau pilih dari daftar skala wentworth (Faizal Agung Riyadi, 2019)

TAMPILAN HALAMAN HASIL / SUMMARY

Metode / Formula	Debit Rencana (m ³ /s)
Chezy	100
Geometri Saluran	Gradien Saluran (i)
Trapezoid	1.4286.E-03
Lebar Alas (Base) Saluran (b = y · cos (45°))	
Metode Penentuan Koefisien n	
Skala Wentworth	
Koefisien (n)	Koefisien (C)
0.0087	121.0455
Ukuran Butir Partikel (meter)	
0.000625	
Lanau	
UBAH PARAMETER	

Buat Model Penampang

SUMMARY UNTUK TIAP GEOMETRI DAN FORMULA

Geometry	Formula	y (m)	x (m)	z (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	5.937	17.621	11.873	1.484	1.218	100.000	5.675
Rectangular	Chezy	2.990	0.000	2.990	5.979	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	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	1.514	1.260	100.000	5.802
Trapezoid	Chezy	3.202	3.202	4.529	2.264	8.669	17.587	11.322	1.546	1.265	100.000	5.712
Trapezoid	Darcy-Weisbach	3.202	3.202	4.529	2.264	8.669	17.587	11.322	1.546	1.265	100.000	5.712
Triangular	Manning	4.198	4.198	5.977	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 INPUT

Geometry	Formula	y (m)	x (m)	z (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	17.587	11.322	1.546	1.265	100.000	5.712

CHART 1

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
5, (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, unplanned	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
e, 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