ISSN 0853-8557

PENYEDERHANAAN RUMUS DEBIT ALIRAN LEWAT LUBANG BESAR

Munadhir[1]

[1]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Indonesia
Email: munadhir@yahoo.co.id

ABSTRACT

Theory of flow discharge through large orifice on wall is obtained by integration of small orifice equation dQ on flow column dA. The flow equation obtained from integration process contains fractional exponent number, moreover the obtained equation is not simple for practical purpose. The application of the obtained equation can raise an error. This research presents practical discharge concept as a result of multiplication of orifice broad (A) and flow velocity (V) at the centre of orifice. Application of practical discharge equation on rectange orifice, triangle orifice, trapezoidal orifice, and circle orifice show maximum error presentation less than 5% toward theoretical discharge.

Keywords: discharge, maximum error prosentation

PENDAHULUAN

Salah satu persoalan di dalam penerapan hukum Bernoulli tentang aliran untuk fluida nyata adalah memperkirakan debit lewat lubang tidak tergenang di dinding suatu *storage* (bak air, saluran terbuka, bendung, dam) dengan tinggi muka air yang dapat dianggap konstan, baik lubang kecil maupun lubang besar. Lubang kecil (Gambar 1b), biasanya berupa lingkaran, digunakan pada keran-keran untuk fasilitas umum seperti taman, tempat wudhu, dan kamar mandi, dengan debit kurang dari lima liter perdetik. Lubang besar (Gambar 1a), bisa berbentuk lingkaran, segi-empat, segi-tiga, dan trapesium, umumnya digunakan pada pintu air (*sluice gate*), pintu air dengan pemberat (*counter weight*) untuk irigasi, dan perlengkapan bangunan pengendali banjir/air pasang, dengan debit mencapai ratusan hingga ribuan liter perdetik.

Rumus debit-teori untuk lubang kecil, sebagaimana tersebut di dalam buku-buku mekanika fluida (King (1948) hal.134, Giles (1977) hal. 139-140, Franzini (1977) hal.381-385, Streeter (1981) hal. 343-344, Abdul Latheef (1984) hal.103) adalah sederhana yaitu hasil kali kecepatan di pusat lubang (*V*) dan luas lubang (*A*). Adapun rumus-rumus debit-teori untuk lubang besar tidak tergenang yang seluruhnya terletak di bawah muka air, tidak dibicarakan dalam buku-buku tersebut, kecuali oleh Vennard & Street (1982), hal.145. Penyebabnya, prinsip penyelesaian hitungan debit untuk lubang besar adalah sama seperti lubang kecil. Bedanya, pada lubang besar itu luas *A* dibagi menjadi bagian-bagian kecil *dA*, sedangkan *V* pada *dA* tidaklah konstan tetapi merupakan fungsi dari tinggi energi (*head*) di *dA*. Hitungan di sini diselesaikan dengan integral yang tingkat kesulitannya bervariasi, tergantung pada bentuk lubang.Yang paling mudah adalah lubang segi-empat, kemudian akan menjadi lebih sulit pada bentuk segi-tiga dan trapesium. Yang paling sulit adalah penyelesaian integral untuk debit lubang lingkaran atau setengah lingkaran. Debit teori yang diperoleh dari hitungan integral ini mempunyai tingkat ketelitian paling tinggi, namun di lain sisi tidaklah praktis dalam penggunaannya karena mengandung variabel yang tidak linier (berpangkat pecahan), dan harus memperhatikan dengan seksama batas-batas integrasinya.

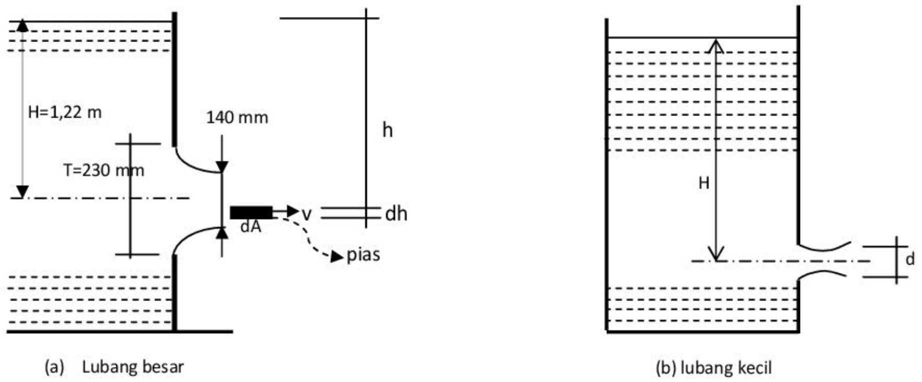
Di dalam praktek rekayasa sipil keairan, akan lebih disukai bila tersedia rumus-rumus praktis yang lebih sederhana, mudah diingat dan digunakan asal persentase kesalahannya

ISSN 0853-8557

(dibanding debit teori) masih berada dalam batas yang secara umum bisa diterima, dan cukup teliti untuk tujuan disain. Masalahya adalah, tidak semua rumus-rumus debit teori lubang besar dimaksud (termasuk rumus debit praktisnya), dibicarakan dalam buku-buku standar (*text books*) hidrolika. Buku-buku dimaksud, umumnya hanya membahas aliran lewat lubang kecil, yang prinsip penyelesaiannya adalah sama untuk lubang besar. Artinya, penurunan rumus debit lubang besar itu dipercayakan kepada pembaca karena prinsip pemecahannya sudah diberikan. Tulisan ini bertujuan menjabarkan rumus-rumus debit dimaksud, baik rumus teori maupun praktisnya, dan mendapatkan berapa persen kesalahan debit praktisnya. Tulisan ini juga hanya membicarakan debit lubang vertikal berbentuk segi empat, segi tiga, trapesium, dan lingkaran, yang seluruhnya ada di bawah muka air, dengan pengaliran sempurna (tidak tergenang).

PUSTAKA

Vennard & Street (1982), hal.143-145 menganalisis debit lubang segi empat seperti berikut.



Gambar 1. Aliran lewat lubang pada dinding

Cara pertama yaitu dengan menggunakan persamaan $dq = V(dA)$. Oleh karena $V=\sqrt{2gh}$ dan $dA = b\ (dh)$ maka pengintegralan dengan batas h_1=1,15 m dan h_2=1,29 m; memberikan

$$q = \frac{2}{3}(b)\sqrt{2g}\left((1{,}29)^{\frac{3}{2}} - (1.15)^{\frac{3}{2}}\right)$$
$$q = 0{,}685\ m^3/det$$

Cara kedua, mengganti h dengan H (jarak vertikal pusat lubang ke muka air) sebesar 1,22 m; memberikan kecepatan rerata $V = \sqrt{2g(1{,}22)}$ = 4,89 m/det. Di sini A=0,14 m^2 (luas lubang tiap meter lebar). Selanjutnya, $q=AxV$ memberikan q = (0,14) (4,89) = 0,685 m^3/det. Harga ini sama dengan yang diperoleh dari cara pertama (hitungan integral). Selanjutnya disebutkan (hal.145) bahwa sebenarnya kecepatan air di pusat lubang adalah lebih besar daripada kecepatan rerata. Akan tetapi bila rasio tinggi tekanan-tinggi bukaan lubang (H/T) adalah besar, perbedaan harga yang kecil, daerah aliran terdistorsi sangat besar oleh melemahnya pancaran (*jet*). Oleh sebab itu maka cara hitungan yang kedua boleh dipakai hanya untuk hitungan pendekatan yang kasar. Vennard & Street tidak menjelaskan secara definitif berapa nilai (H/T) yang dapat disebut besar maupun kecil.

TEORI

Rumus umum debit aliran diperoleh dengan mengintegralkan debit lewat pias (Gambar 1a) yang nilainya adalah luas pias dikalikan kecepatan pada pias, dan ditulis sebagai

$$dQ = dA.V \tag{1}$$

dengan dQ adaah debit pias dA adalah luas pias (m^2), dan V adalah kecepatan pada pias,

ISSN 0853-8557

Bila persamaan (1) dintegralkan untuk seluruh tampang aliran maka diperoleh

dengan dQ adaah debit pias dA adalah luas pias (m^2), dan V adalah kecepatan pada pias,

Bila pers.(1) dintegralkan untuk seluruh tampang aliran maka diperoleh

$$Q = \int V dA \quad (2)$$

dengan Q adakah debit lubang (m^3/det), dA adalah luas tampang aliran (m^2) dan V adalah kecepatan aliran pada dA (m/det)

Kecepatan aliran V, tergantung kepada tinggi energi, dan ditulis sebagai

$$V=\sqrt{2gh} \quad (3)$$

dengan g adalah percepatan gravitasi, dan h adalah jarak vertikal pias dA ke muka air.

Kalau (3) dimasukkan ke (2) lalu diintegralkan untuk luas aliran kecil dA setebal dh dan lebar b maka $dA=bxdh$ dan dapat ditulis sebagai

$$Q_t = \int b\sqrt{2gh}\, dh \quad (4)$$

Persamaan ini adalah rumus umum debit teoritik lubang seluas dA yang selanjutnya harus diintegralkan dengan memasukkan harga b, dan batas-batas integrasinya.

Debit Praktis

Debit praktis pada lubang seluas A ditulis sebagai

$$Q_p = A\sqrt{2gH} \quad (5)$$

Dengan H adalah jarak vertikal pusat lubang ke muka air

Persentase Kesalahan

Persentase kesalahan p didefinisikan sebagai rasio debit praktis (Q_p) dan debit teori (Q_t) dikurangi satu, hasilnya dikalikan 100%. Secara matematis dapat ditulis

$$p = \left(\frac{Q_p}{Q_t} - 1\right) x100\% \quad (6)$$

METODE PEMECAHAN

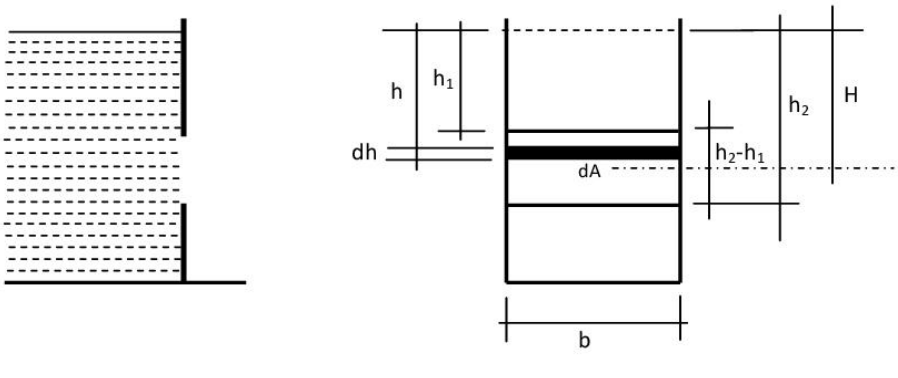
Lubang segi empat

Kalau pers. (4) diintegralkan, dengan harga b konstan dan memasukkan batas integrasi maka diperoleh debit teoritik

$$Q_t = \frac{2}{3} b\sqrt{2g}(h_2\sqrt{h_2}\text{-}h_1\sqrt{h_1}) \quad (7)$$

Bila digunakan persamaan (5) dengan mengambil $A = b(h_2\text{-}h_1)$ dan $H=\frac{h2+h1}{2}$ maka diperoleh debit praktis, yang ditulis sebagai

$$Q_p = b(h_2 - h_1)\sqrt{g(h_2 + h_1)} \quad (8)$$



Gambar 2. Komponen integral pada lubang segi-empat

Kalau persamaan (4) diintegralkan, dengan harga b konstan dan memasukkan batas integrasi maka diperoleh debit teoritik

$$Q_t = \frac{2}{3} b\sqrt{2g}(h_2\sqrt{h_2}\text{-}h_1\sqrt{h_1}) \quad (7)$$

Bila digunakan pers. (5) dengan mengambil A= b (h_2-h_1) dan H=$\frac{h2+h1}{2}$ maka diperoleh debit praktis, yang ditulis sebagai

$$Q_p = b(h_2 - h_1)\sqrt{g(h_2 + h_1)} \quad (8)$$

Pemakaian

Dengan mengambil g=9,81 m/det^2; b=1,50 m; h_2=2,50 m; h_1=1,25 m maka debit teori menurut rumus (7) dan (8) berturutan adalah Q_t = 11,31858604 m^3/det dan Q_p =11,37238 m^3/det. Dengan menggunakan pers.(6) maka diperoleh p = 0,50%. Harga ini jauh di bawah 5% sehingga rumus praktis cukup teliti untuk dipakai dalam menghitung debit teoritis lubang segi empat.

Hitungan kesalahan p juga dapat dilakukan tanpa menghitung debit teoritik maupun debit praktis tapi dengan membandingkan kedua rumus tersebut. Hasilnya dapat ditulis sebagai

$$p + 1 = \frac{3(h_2 - h_1)\sqrt{(h_2 + h_1)}}{2\sqrt{2}\left({h_2}^{3/2} - {h_1}^{3/2}\right)} \qquad (9)$$

Kalau harga-harga yang diketahui dimasukkan maka diperoleh angka 1,00475; memberikan nilai p = 0,475%; sama dengan yang dihitung sebelumnya. Kalau diambil h_1=0,50 h_2 maka persamaan (9) memberikan p = 0,475 %. Hasil ini sama dengan hitungan dengan rumus (6). Kalau h_1 = 0,25 h_2 maka p = 1,645%.

Lubang segi tiga

Di sini dA=b_1 dh sedangkan harga b_1= $b(h-h_1)/(h_2-h_1)$. Kalau harga-harga ini dimasukkan ke persamaan (1) dan (2) maka diperoleh bentuk

$$dQ = \frac{b(h - h_1)}{h_2 - h_1}\sqrt{2gh}\ dh\ldots \qquad (10)$$

Integrasi pers.(10.) memberikan debit teoritik

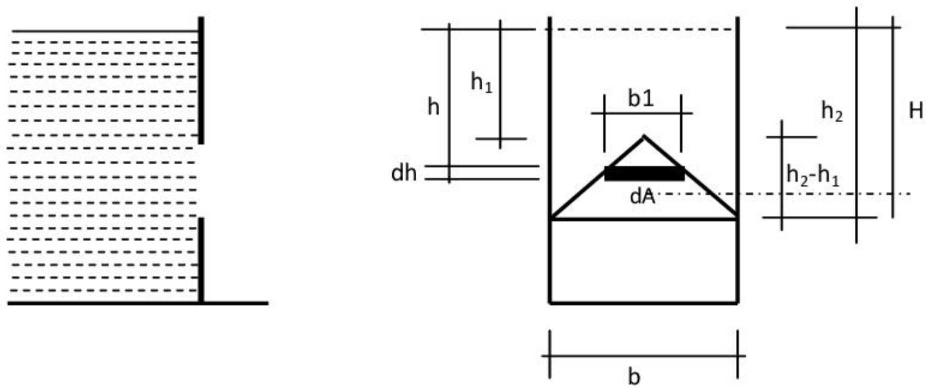
$$Q_t = \frac{b\sqrt{2g}}{h2 - h1}\left[\frac{2}{5}\left({h_2}^{5/2} - {h_1}^{5/2}\right) - \right.$$
$$23\hbar 1(\hbar 232 - \hbar 132)$$
(11)

Debit praktis diperoleh dengan memakai rumus (5), mengambil A = ½ (b) $(h_2$-$h_1)$, dan nilai H = $(h_2$-$1/3(h_2$-$h_1)$ sehingga $V = \sqrt{2g\left(h_2 - \frac{1}{3}\ (h_2 - h_1)\right)}$, memberikan

$$Q_p = \frac{1}{2}b(h_2 - h_1)$$

$$\sqrt{2g\left(h_2 - \frac{1}{3}\ (h_2 - h_1)\right)} \qquad (12)$$

Dengan menggunakan data seperti pada lubang segi empat maka persamaan (11) memberikan Qt = 5,977921362 m^3/det sedangkan persamaan (12) memberikan Qp = 5,993771181 m^3/det. Dengan rumus (6) diperoleh **p=0,2% << 5%.** Ini menunjukkan bahwa rumus praktis cukup teliti.



Gambar 3. Komponen integral pada lubang segi-tiga

Lubang Trapesium

Untuk lubang trapesium nilai $b= b_1+(h-h_1)(b_2-b_1)/(h_2-h_1)$. Dengan menggunakan persamaan (1) dan (3) diperoleh bentuk

$$dQ = \left[\frac{b_1+(h-h_1)(b_2-b_1)}{(h_2-h_1)}\right]\sqrt{2gh}dh \qquad (13)$$

Pengintegralan pes.(13) memberikan rumus debit teoritik

$$\mathrm{Q_t} = \sqrt{2g}\left\{\frac{2}{3}b_1 h^{\frac{3}{2}} + \frac{b_2 - b_1}{h_2 - h_1}\left(\frac{2}{3}h^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{3}h_1 h^{\frac{3}{2}}\right)\right\}\Bigg|_{h_1}^{h_2}$$

$Q_t = \sqrt{2g}\left\{\frac{2}{3}b_1 h^{3/2} + \frac{b_2-b_1}{h_2-h_1}\left(\frac{2}{3}h^{5/2} - \right.\right.$ $23ℎ1ℎ3/2$ (14)

Debit praktis diperoleh dengan memakai persamaan (5) dengan A adalah luas trapesium, dan $H = h_2$-y adalah jarak titik berat trapesium kemuka air. Dengan statis momen luas terhadap alasnya maka diperoleh jarak titik berat trapesium (terhadap alas) y, yang ditulis sebagai

$$y = \frac{1}{3}(h_2 - h_1)\left(1 + \frac{b_1}{b_1+b_2}\right) \qquad (15)$$

Kalau harga A dan y dimasukkan ke pers. (5) maka diperoleh

$$Q_p = \left(\frac{b_1 + b_2}{2}\right)(h_2 - h_1)$$

$$\sqrt{2g[H - \frac{1}{3}(h_2 - h_1)\left(1 + \frac{b_1}{b_2+b_1}\right)]} \qquad (16)$$

Pemakaian

Misalkan diketahui b_1=1,00 m; b_2=2,50 m; h_1=1,25 m; h_2=2,50 m. Dengan persamaan (14), diperoleh debit teoritik Qt = 13,5236454 m^3/det. Selanjutnya, A = 0,50 (1+2,5) (1,25) = 2,1875 m^2. Kemudian dengan persamaan (15) diperoleh y = 0,5357 m sehingga H = 2,50-0,5397 = 1,9643 m. Debit praktis $Q_p = AV$ dapat ditulis menjadi: Q_p = (2,1875) $\sqrt{2(9{,}81)(1{,}9643)}$ = 13,58 m^3/det m^3/det. Nilai p menurut persamaan (6) adalah 0,417% << **5%.**

Lubang Lingkaran

Debit teori

dA=2rdh; $r = \sqrt{R^2 - (H-h)^2}$; $V = \sqrt{2gh}$. Dengan memasukkan harga dA dan V ke (1), dan dengan batas integrasi h_1=H-R dan h_2=H+R diperoleh rumus debit teori

$$Q_t = 2\sqrt{2g}\int_{H-R}^{H+R}\sqrt{R^2 - (H-h)^2}$$

$$\sqrt{h}\,dh \qquad (17)$$

Integral ini sulit diselesaikan secara kalkulus biasa. Oleh karena itu akan diselesaikan dengan menulis integral dalam bentuk jumlahan seperti berikut

$$Q = \sum f(h)dh \qquad (18)$$

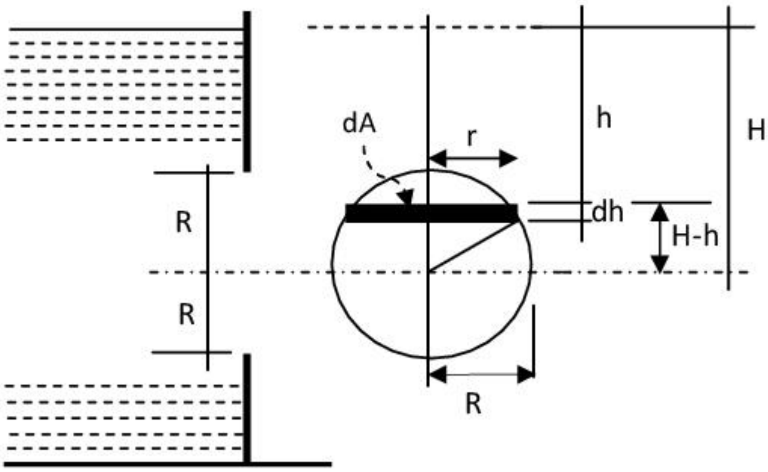
Dengan

n $f(h) = 2\sqrt{2g}\sqrt{R^2 - (H-h)^2}\sqrt{h}$ (19)

Debit praktis

Dengan mengambil A=πR^2 dan V=$\sqrt{2gH}$ diperoleh rumus debit praktis

$$Q_p = \pi R^2\sqrt{2gH} \qquad (20)$$



Gambar 5. Komponen integral pada lubang lingkaran

Pemakaian

Diberikan *H*=1,15 m ; *R*=0,15 m dan *dh*=0,15 m. Dengan program Microsoft Excel, persamaan (17) dan (18) diselesaikan dalam bentuk tabel seperti berikut.

Tabel Hitungan pendekatan debit lewat lubang lingkaran

dh **(m)**	***h*** **(m)**	***V=(2gh)$^{0.5}$***	***r*** **(m)**	***A* = 2 *r (dh)***	***Q* = *AV***
0.015	1	4.42944692	4.9281E-09	1.47843E-10	6.54862E-10
0.015	1.015	4.46254412	0.06538348	0.001961505	0.0087533
0.015	1.03	4.49539765	0.09	0.0027	0.012137574
0.015	1.045	4.52801281	0.10712143	0.003213643	0.014551416
0.015	1.06	4.56039472	0.12	0.0036	0.016417421
0.015	1.075	4.59254831	0.12990381	0.003897114	0.017897686
0.015	1.09	4.62447835	0.13747727	0.004124318	0.01907282
0.015	1.105	4.65618943	0.14309088	0.004292726	0.019987747
0.015	1.12	4.687686	0.14696938	0.004409082	0.02066839
0.015	1.135	4.71897235	0.14924812	0.004477443	0.021128932
0.015	1.15	4.75005263	0.15	0.0045	0.021375237
0.015	1.165	4.78093087	0.14924812	0.004477443	0.021406348
0.015	1.18	4.81161096	0.14696938	0.004409082	0.021214785
0.015	1.195	4.84209665	0.14309088	0.004292726	0.020785796
0.015	1.21	4.87239161	0.13747727	0.004124318	0.020095293
0.015	1.225	4.90249936	0.12990381	0.003897114	0.0191056
0.015	1.24	4.93242334	0.12	0.0036	0.017756724
0.015	1.255	4.96216687	0.10712143	0.003213643	0.015946632
0.015	1.27	4.99173317	0.09	0.0027	0.01347768
0.015	1.285	5.02112537	0.06538348	0.001961505	0.00984896
0.015	1.3	5.05034652	2.3634E-08	7.0903E-10	3.58084E-09
				Debit riil Qr=	0.331628344

ISSN 0853-8557

Rumus sederhana *Qs = AxV*

B	= 1 m
R	= 0.15 m
V	= 4.75005263 m/s
A	= 0.070686 m^2
Q	= AxV= 0.33576222 m/s
ΔQ	= 0.004133876
$(\Delta Q/Q_r)$x100%	= 1.24653876

PEMBAHASAN

Rumus debit-teori untuk lubang segi-tiga, trapesium, dan lingkaran, yaitu persamaan (11), (14), dan (17) terlihat lebih rumit daripada rumus praktis yaitu persamaan (12), (15), dan (20). Dalam contoh pemakaian di atas, debit praktis memberikan hasil yang lebih besar daripada debit teorinya, namun persentase kesalahan debit praktis untuk lubang segi empat, segi tiga, trapesium, dan lingkaran sebesar 0,475%; 0,20%; 0,417%, dan 1,25% berturut-turut, masih lebih kecil dari kriteria penerimaan yaitu 5%. Tetapi perlu dicatat bahwa hasil-hasil ini tentu akan berbeda (bisa lebih besar atau lebih kecil) bila ukuran lubang berbeda dengan contoh di sini. Untuk itu perlu dicari beberapa kombinasi harga variabel-variabel yang terlibat dalam rumus debit teori maupun praktis yaitu h_1, h_2, b_1, dan b_2, untuk mengetahui kapan angka 5% itu akan dilewati. Usaha ini tentu saja membawa kepada hitungan yang panjang karena kombinasi yang mungkin terjadi juga banyak. Sebagai ilustrasi, akan dibahas kasus untuk lubang segi-empat.

Kalau h_1 dalam rumus (9) itu ditulis sebagai $h_1 = ch_2$ maka diperoleh bentuk

$$p+1 = \frac{3(h_2-ch_2)\sqrt{(h_2+c\,h_2)}}{2\sqrt{2}\left(h_2{}^{3/2}-(ch_2)^{3/2}\right)} = \frac{3\,h_2{}^{\frac{3}{2}}(1-c)\sqrt{(1+c)}}{2\sqrt{2}\left((h_2)^{\frac{3}{2}}(1-(c)^{3/2}\right)}$$

Karena pada pembilang maupun penyebut terdapat $(h_2)^{3/2}$ maka bentuk terakhir menjadi

$$p+1 = \frac{3\,(1-c)\sqrt{(1+c)}}{2\sqrt{2}\left((1-(c)^{3/2}\right)}$$

Dengan memberikan harga c=0,03 maka diperoleh *p*+1=1,05; dan p=5%. Harga h_1 dalam kasus ini adalah 0,03 h_2. Untuk h_2 = 1m maka h_1 = 3 cm. Konstruksi seperti ini tidak lazim di dalam praktek (lihat Gambar 2) karena tidak bisa membentuk dinding yang cukup di atas lubang untuk menghasilkan konstruksi yang kuat. Kondisi ekstrim ini juga akan menghasilkan tinggi bukaan pintu (*T*) yang mungkin akan lebih besar dari lebar lubangnya. Sebagai contoh untuk h_2 = 2 m dan *b* = 1,00 m maka h_1 = 6 cm, dan *T* = 1,94 m. Umumnya, tinggi bukaan itu lebih kecil dari lebar lubangnya. Kasus dimana *T* lebih besar dari *b*, biasa dijumpai pada lubang pelepas sedimen pada sabo dam. Meskipun demikian, harga h_1 tetap akan lebih besar dari 0,03 h_2 agar bagian atas lubang kuat untuk dilalui kendaraan. Ini berarti bahwa kesalahan penggunaan rumus praktis untuk lubang segi-empat, segi-tiga, trapesium, dan lingkaran dapat diharapkan akan lebih kecil dari 5%, dan memadai untuk keperluan disain.

Khusus untuk lubang lingkaran, kesalahannya adalah paling besar. Hal ini disebabkan karena debit teorinya dihitung secara pendekatan sehingga hasilnya bukanlah harga yang sebenarnya. Penetapan dh sebesar 1,50 cm memberikan *p*=1,25%. Kalau *dh* lebih kecil lagi maka debit-teori akan lebih besar dari 0,33163 m^3/det sehingga p juga akan lebih kecil dari 1,25%.

Hitungan debit segi-empat yang disajikan pada pustaka (Vennard & Street, 1982 hal.145) dengan debit sebesar 0,685 m^3/detik adalah debit sebenarnya yang sudah memasukkan koeffisien debit (*Cd*) yang harganya harus lebih kecil dari satu. Untuk menghitung debit teori yang dihitung dengan persamaan (7) maupun debit praktis dengan rumus (8), perlu diketahui harga h_2 dan h_1 yang dalam contoh tersebut masing-masing adalah (1,22+0,50(0,23)) = 1,335 m dan (1,22-0,50(0,23) = 1,105 m. Kalau harga mereka dimasukkan ke (7) hasilnya adalah 1,12485 m^3/det, dan kalau dimasukkan ke (8) hasilnya adalah 1,12527 m^3/det. Harga

p+1 = (1,12527/1,12485) = 1,00037; dan p = 0,037%. Rasio *head* bukaannya adalah 1,22/0,23 = 5,30. Pada tulisan ini untuk lubang segi-empat p = 0,475% dihasilkan oleh rasio *head* bukaan sebesar 1,875/1,25 = 1,50. Nampak bahwa semakin besar rasio head-bukaan pintu maka semakin kecil pula harga p. Telah disebutkan dalam pustaka bahwa Vennard & Street tidak memberikan angka yang pasti untuk mengetahui kapan suatu nilai dari rasio head-tinggi bukaan H/T dapat disebut besar ataupun kecil. Akan tetapi kalau dipakai kriteria bahwa nilai H/T yang kecil itu adalah yang memberikan p = 5% maka dengan h_1=0,03 h_2 diperoleh nilai H = 0,50 (h_1+h_2)=0,50 (1,03) h_2 = 0,5015 h_2, dan T = h_2-h_1 = 0,97 h_2. Dari sini diperoleh H/T = 0,53. Jadi apabila > 0,53 maka dapat disebut besar.

Hitungan agak panjang pada rumus praktis terjadi pada waktu menghitung letak titik berat trapesium. Lihat persamaan (15). Apabila untuk lebih mudahnya harga y diambil sebesar setengah tinggi trapesium yaitu 0,50(1,25) = 0,625 m maka H = 2,50-0,625 = 1,875 m, dan ini memberikan debit praktis Qp = (2,1875) $\sqrt{2(9,81)(1,875)}$ = 13,26778 m^3/det. Harga persentase kesalahan p=[(Qp/Qt)-1] x 100% = -1,90% <5%, sehingga pendekatan inipun masih cukup teliti.

SIMPULAN

Penggunaan rumus praktis untuk mencari debit lubang Q=AV, dengan Q adalah debit lubang, A adalah luas lubang, dan V adalah kecepatan aliran pada pusat berat lubang, untuk lubang segi empat, segi-tiga, trapesium, dan lingkaran, memberikan kesalahan < 5%, dan cukup teliti untuk keperluan disain.

PUSTAKA

King H.W., Wisler C.O., dan Woodburn J.G, (1948), "*Hydraulics*", John Wiley & Sons, New York

Daugherty, R.L., dan Franzini, J.B., (1977), "*Fluid Mechanics With Engineering Application*", Mc Graw Hill, New York

Giles, R.V., (1977), "*Fluid Mechanics and Hydraulics*", Mc Graw Hill, New York

Streeter, V.L., dan Wylie, E.B., (1981), "*Fluid Mechanics*", Mc Graw Hill, Toronto

Vennard, J.K., dan Street, R.L., (1982), "*Elementary Fluid Mechanics*", John Wiley & Sons, New York

Laatheef, P.K.A., Varghese, P.I., (1984), "*Hydraulics*", Khanna Publisher, New Delhi