

PEMBAHASAN FORMULA HIDROLIKA UNTUK PINTU-AIR-MASUK *)

R. Mohamad Besari **)

RINGKASAN

Pada umumnya dalam formula² hidrolika terdapat koefisien² μ atau m yang harganya sangat diragukan kebenarannya. Sangat lebih mengukuhkan lagi akan kebenarannya, bahwa satu koefisien tertentu dipergunakan untuk dua pintu air yang sama bentuknya, akan tetapi belainan kedudukannya terhadap jurusan arah aliran air. Disini akan dibahas harga koefisien² itu dengan melibatkan percobaan² di Laboratorium Hidrolika I.T.B. dengan menggunakan model perkecilan (model²le) dari sesuatu pintu air yang sungguh² akan didiri air melalui model itu.



9 MEI 1978

ABSTRACT

The use of the coefficient μ or m is well known in hydraulics. However, there exist some uncertainties in the value to be assigned in practice. The author casts some doubt on the notion that the same coefficient is used for two similar gates, but which have different flow directions past them.

In the present work the values of the coefficients are determined by conducting experiments in the Hydraulics Laboratory at I.T.B., employing scaled model of a widely used gate in a plume.

1. PENDAHULUAN

1.1. Apabila seseorang hendak merencanakan suatu bangunan hidrolis, misalnya pintu-air-masuk (inlet-Ing. Intake-Air, Einlauf-Deutsch, Baitan-Peru, Inlaat-Beld.), maka terlebih dahulu harus diketahui perbandingan untuk menetapkan ukuran²-nya. Pada umumnya perhitungan² ini dilakukan dengan menggunakan formula² hidrolika. Salah satu formula² yang lazim dipakai ialah :

$$Q = \mu F \sqrt{2g z}$$

dimana berarti :

Q = banjaknya air yang mengalir melalui pintu, satuan meter³/detik;

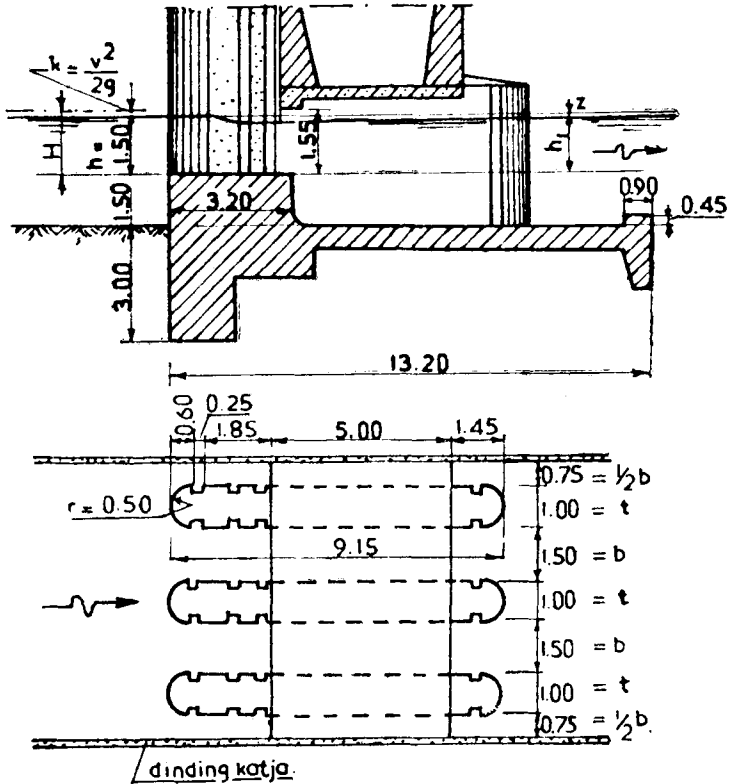
F = luas penampang basal didalam pintu, satuan m².

*) Research dibinai oleh PELITA-I.T.B. Dipublikasikanna tulisan ini seizin Rektor I.T.B.

**) Bagian Sipil I.T.B.

Sama djuga dengan $h_1 \times b$, dimana h_1 adalah tinggi muka-air hilir pintu diatas ambang, sedang b adalah lebar pintu, masing² dengan satuan meter.

- g = gravitasi = 9,80 m/det;
- z = selisih tinggi muka-air udik pintu h dengan tinggi muka-air hilir pintu h_1 dihitung dari bidang atas ambang pintu, satuan meter;
- μ = koefisien, jang harganja tergantung pada bentuk (konstruksi) pintu. Tidak bermatra. (Gambar 1).



Gambar 1.

Oleh karena air jang masuk pintu itu mengalir dengan ketjepatan v tertentu, jang disebut djuga ketjepatan mendatang, maka tidak tepatlah djika hanja tinggi muka-air udik pintu h sadja jang diikut sertakan dalam perhitungan², akan tetapi tinggi-ketjepatan (tinggi garis enersi)

$k = \frac{v^2}{2g}$, dimana v = ketjepatan mendatang, harus djuga diikut sertakan.

Dengan demikian, maka jang harus diperhitungkan mendjadi tinggi garis enersi udik pintu diatas ambang pintu

$$H = h + k = h + \frac{v^2}{2g}.$$

Dengan adanja tambahan² ini, maka formula 1) berubahlah mendjadi :

$$Q = \mu b h_1 \sqrt{2g(z + k)} \dots\dots\dots 2).$$

dimana $b =$ lebar pintu, satuan meter, seperti pendjelasan pada formula 1). (lihat Gambar 1).

1. 2. Persoalan jang harus dihadapi ialah, berapa harga jang harus diberikan kepada koefisien μ ini. Sebenarnja persoalan ini sudah menghadapi djalan buntu, oleh karena tidak diketahui dengan pasti, berapa harga koefisien μ .

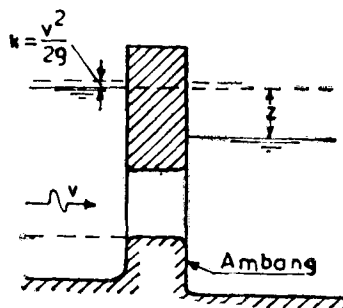
2. KEBIASAAN DI INDONESIA

2. 1. Untuk mendapatkan harga koefisien μ ini di Indonesia, pada umumnja dipakai bukunja van Maanen (1924; 1932).

Pada pokoknja isi buku tjetakan kedua sama dengan tjetakan pertama, tidak ada perubahan² jang berarti, hanja ditambah dengan hal² mengenai bangunan-ukur, misalnja tjiptaan Vlugter, bangunan-ukur Venturi dan ada beberapa hal lain lagi. Buku tersebut telah dipakai sebagai "buku pedoman", oleh karena memang benar, bahwa pada waktu itu buku ini adalah satu²-nja buku jang dapat memberikan petunjuk² kepada seseorang jang sedang melakukan perantjangan² (design) bangunan² - irigasi (bangunan-bangunan-pengairan).

2. 2. Untuk memberi pengertian mengenai pemberian harga² koefisien μ ini, van Maanen telah meng-golong²kan pengaliran air melalui pintu² itu mendjadi 3 golongan.

a) Pengaliran air melalui pintu jang seluruhnja terletak dibawah muka air (Gambar 2).



Gambar 2.

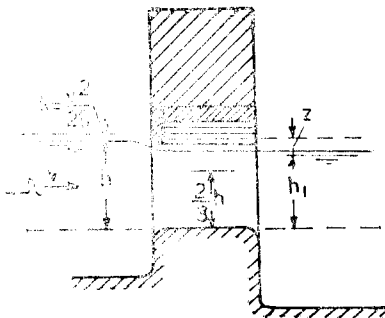
Dalam golongan ini van Maanen telah menjusun suatu Daftar I.

DAFTAR I.

	Ambang lebih tinggi dari dasar saluran			Ambang rata dengan dasar saluran	
	Ambang dan sisi ² lubang siku ²	Ambang dibulatkan, sisi ² lubang siku ²	Ambang dan sisi ² lubang dibulatkan.	Sisi ² lubang siku ² -	Sisi ² lubang dibulatkan.
Labang pintu seluruhnja dibawah muka air.					
Sisi atas siku ²	0,64	0,58	0,73	0,72	0,81
Sisi atas dibulatkan	0,68	0,72	0,81	0,76	0,85

Lebih lanjut masih ditambahkan pendjelasan² mengenai Daftar I sebagai berikut :

Marga koefisien² ini dapat diketahui dengan mudah dengan membayangkan sebuah lubang berbentuk persegi empat dengan luas F . Untuk tiap sisi jang siku² harga μF adalah 9% lebih ketjil, sedang untuk tiap sisi jang dibulatkan 5% lebih ketjil dari harga F . Djika ambang lubang pintu rata dengan dasar sungai, dari mana lubang ini menjadap, maka untuk sisi bawah (ambang) tidak perlu dikurangi². (Gambar 2).



Gambar 3.

Djikalau utjapan² ini diperhatikan benar² maka terasalah, bahwa persoalan mengenai bangunan-air, atau lebih tepat djika dikatakan persoalan mengenai pengaliran air, baik jang melalui bangunan², maupun jang mengenai daerah², tampaknja sangat sederhana dan mudah.

b). Pengaliran air melalui pintu dengan muka-airnja bebas, sedang muka-air hilir lebih tinggi dari $2/3 h$ (Gambar 3).

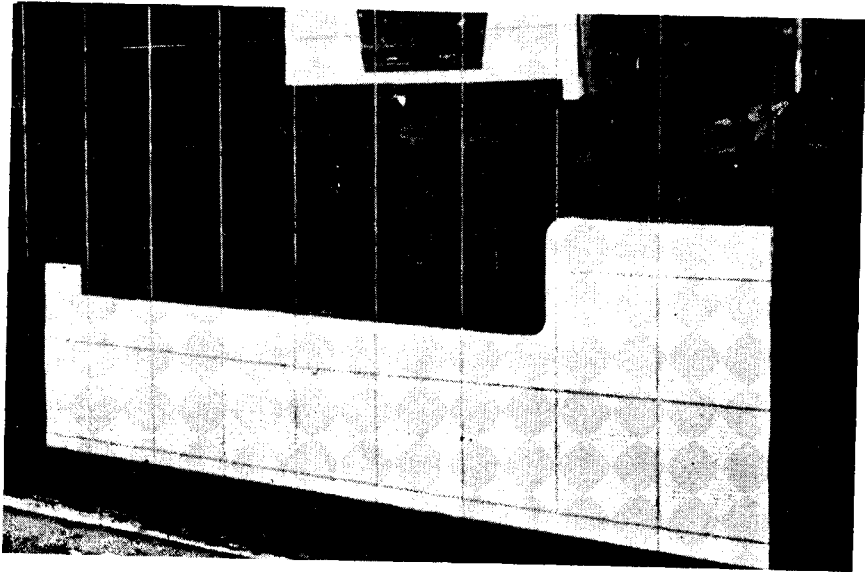


Foto 1 : Potongan searah dengan aliran air. Perhatikan garis muka-air.

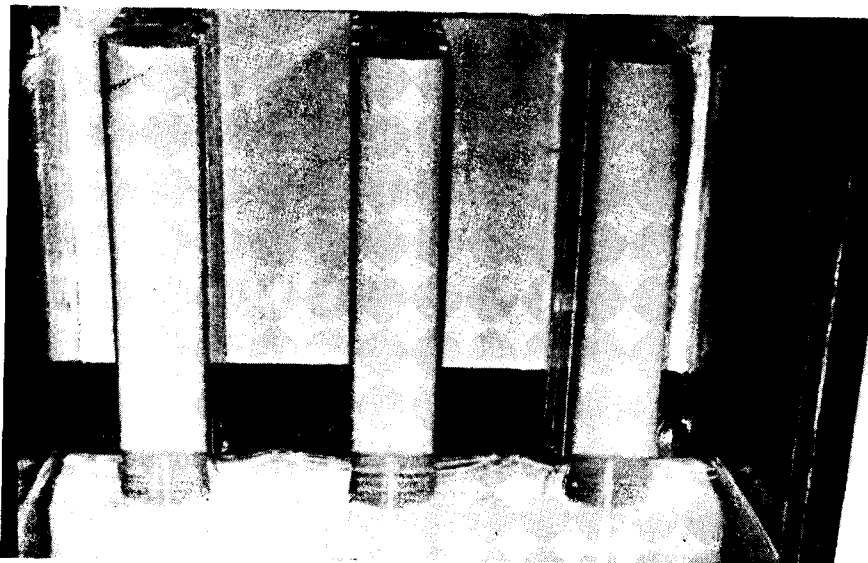


Foto 2 : Tampak bagian udik. Perhatikan gerak air pada tiang.

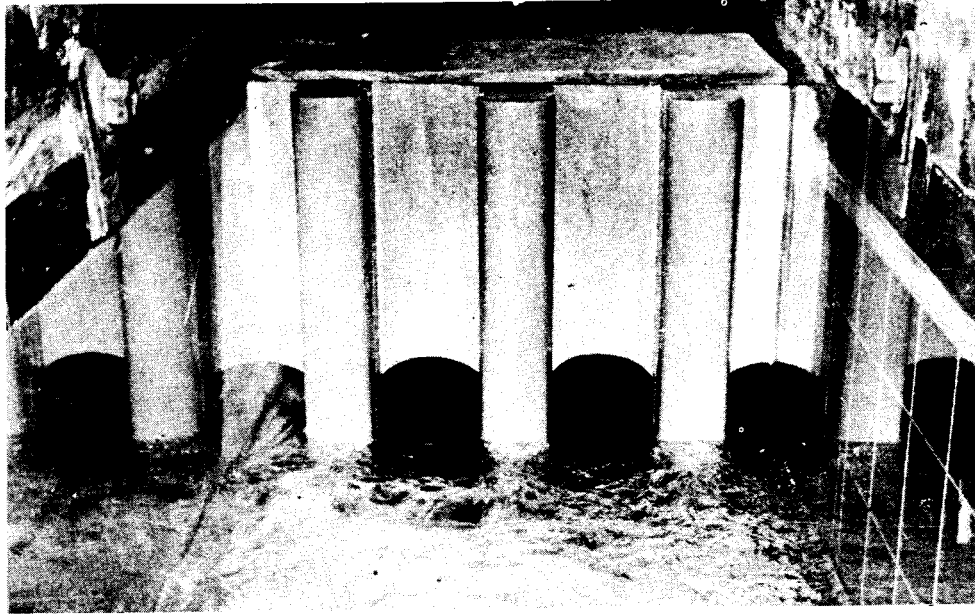


Foto 3 : Tampak bagian hilir. Perhatikan golakan air.

Arti h lihat pendjelasan pada formula 1).

Disini van Maanen memberi petunjuk² sebagai berikut :

Djika ambang pintu terletak lebih tinggi dari dasar sungai atau saluran :

1. untuk ambang dan sisi² jang siku² $\mu_1 = 0,72$;
2. untuk ambang jang dibulatkan, sedang sisi²-nja siku² $\mu_1 = 0,76$;
3. untuk ambang dan sisi² dibulatkan $\mu_1 = 0,85$

Djika ambang pintu rata dengan dasar sungai atau saluran, maka :

4. untuk sisi² jang siku² $\mu_1 = 0,80$;
5. dan untuk sisi² jang dibulatkan $\mu_1 = 0,90$.

Disini tampaklah seperti halnya jang disebutkan dalam golongan a-ajat 2. 2. dengan djelasnja, bahwa harga² koefisien μ ini sedemikian ter-perintjinja, se-akan² semua itu sudah teratur. Hal mana menimbulkan sak wasangka akan kebenarannja.

c). Pengaliran² air melalui pintu jang letaknja muka-air hilir rendah, seperti bendung-djeram (Gambar 4).

Djika muka-air hilir h_1 sama atau lebih rendah dari $2/3 h$, maka bias menggunakan formula :

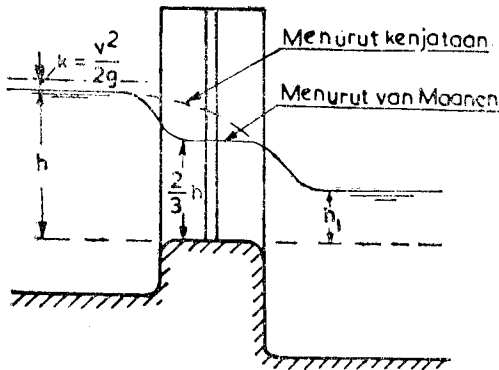
$$Q = \mu_2 \times 0,385 b h \sqrt{2 g h} \dots\dots\dots 5.$$

Djika ketjepatan mendatang diikut sertakan dalam perhitungan, maka rumus 3) mendjadi :

$$Q = \mu_2 \times 0,385 b \left(h + \frac{v^2}{2g} \right) \sqrt{2g \left(h + \frac{v^2}{2g} \right)} \dots\dots\dots 6.$$

Harga μ_2 dapat diberikan seperti harga μ_1 .

Demikianlah menurut van Maanen.



Gambar 4.

Jang diragukan disini ialah, bahwa harga μ_2 sama dengan harga μ_1 .

Djikatau memang $\mu_2 = \mu_1$, mengapa larus diadakan μ_2 . Apakah oleh karena memang formulannja lain. Djelas membingungkan.

2. 3. Keadaan ini semua sangat tidak memuaskan. Maka dari itu perlu diadakan penjelidikan² jang sak-sama dan mendalam untuk menghilangkan, se-tidak²-nja mengurangi ke-ragu²-an tadi.

3. PENJELIDIKAN DILABORATORIUM

3.1. Penjelidikan ini dilakukan dengan menggunakan model perketjilan dari pintu-air-masuk jang dimaksudkan. Model ini dibuat dari kaju jang keras dan kuat, kemudian ditjat dengan maksud, agar tidak terdjadi perubahan-perubahan dalam ukuran² jang sudah ditetapkan pada model, disebabkan kajunja gembung karena air, djika model itu sudah dialiri air. Pembuatan model ini dilakukan sangat teliti dengan meinperhatikan ukuran²-nja sampai 0,2 mm.

Kemudian model ini ditempatkan dalam sebuah talang jang tersedia di Laboratorium hidrolika I.T.B., berukuran lebar 0,5 m, tinggi 0,70 m, pandjang 7,50 m, berdinding katja dikedua belah sisinja dengan maksud, agar gerak aliran air dibawah permukaannja dapat diikuti dan dipeladjari dengan saksama, apabila model ini nanti sudah dialiri air dengan sungguh². Dengan demikian djelaslah, bahwa aliran air itu searah dengan sumbu memandjang model (Foto 1, 2 dan 3).

3.2. Sebelum air mengalir melalui model, maka terlebih dahulu harus diukur dengan menggunakan sekat-ukur tjiptaan Rehbock (1929). Sekat-ukur ini dapat mengukur air jang mengalir sangat teliti dan ditera di Laboratorium pengaliran air dari Sekolah Tinggi Teknik di Karlsruhe, Djerman Barat.

Untuk mengetahui banjknja air jang mengalir melalui sekat itu harus dipergunakan formula :

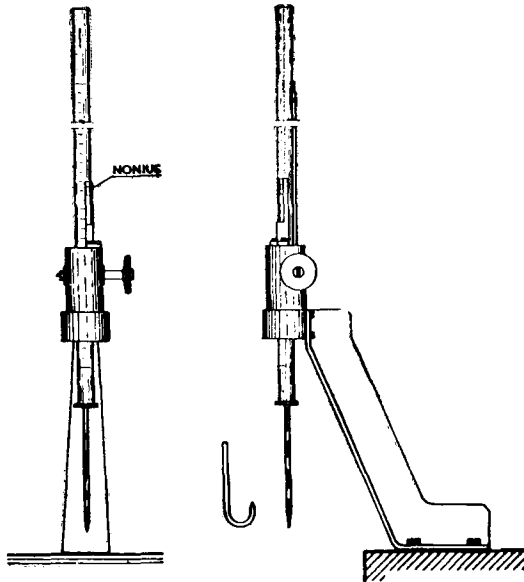
$$Q = (1,782 + 0,24 \frac{h_e}{p}) b h_e^{3/2} \dots\dots\dots 4).$$

dimana berarti :

- Q = banjknja air jang mengalir, satuan m³/det.;
- h_e = h + 0,0011 m;
- h = tinggi muka air diatas mertju dan harus diukur sebelum muka air melengkung;
- b = pandjang sekat;
- p = tinggi sekat diatas dasar udik.

Untuk mengukur tinggi muka air diatas mertju dipergunakan meteran muka-air jang diperlengkapi nonius sehingga dapat menghasilkan ketelitian hingga 0,10 mm (Gambar 5).

3.3. Sesudah segala sesuatunja selesai dipersiapkan, maka dimulailah dengan mengalirkan air melalui model. Semua meteran muka-air dibatja dan menghasilkan ber-turut² tinggi muka-air udik pintu h, muka-air hilir pintu h₁ dan muka-air dalam sekat-ukur h₀.



Gambar 5. Meteran muka air
(Gambar $\pm 1/16$ nja).

Tuntutan pertama jang harus dipenuhi ialah, bahwa tinggi muka-air udik pintu $h = 10$ cm, dan tinggi muka-air hilir pintu h_1 dibuat sedemikian rupa, sehingga ber-turut² mengadakan selisih tinggi z dengan muka-air udik h sekitar 0,67 cm, 1,0 cm, 1,33 cm, 1,67 cm dan 2,0 cm dalam model atau ber-turut² $h = 1,50$ m, sedang $z = 0,10$ m, 0,15 m, 0,20 m, 0,25 m dan 0,30 m dalam keadaan sesungguhnya. Pada tiap² perubahan z ini, semua meteran muka-air ini harus dibatja. Djika tinggi muka-air udik pintu tidak menundjukkan h sekitar 10 cm lagi, maka h ini harus dibetulkan sehingga mendjadi sekitar 10 cm lagi.

Pembatjaan² ini ditulisnja dan perhitungan² dilakukan dalam Daftar II.

Dari penjelidikan ini terdapat $\mu = 0,888$ pada $h = 10,008$ cm dan $z = 2,036$ cm.

4. MENETAPKAN SKALA MODEL

4. 1. Skala untuk model jang akan diselidiki jang per-tama² bergantung pada banjarknja air jang dapat dialirkan di-Laboratorium. Jang kedua bergantung pada lebar talang, djika penjelidikan itu dilakukan didalam talang.

4. 2. Agar tidak mengurangi pengaruh kontraksi air jang mengalir masuk pintu disebabkan tiang², maka pada penjelidikan ini ditetapkan, bahwa banjarknja pintu jang berukuran penuh diambil 2 buah dengan sebuah tiang di-tengah², sedang jang diudjung model berukuran masing² $\frac{1}{2}$ pintu

DAFTAR II

Penjeldikan, Pintu-air-masuk pada model "dwimatra" skala 1:15.

Pembatasan meteran muka-air			Tinggi m.a. diatas			Q Sekat- ukur (cu)	Tinggi muka-air didasar udik pintu	F = $\frac{1}{4} \times B$	V = Qsu/F	$k = \frac{v^2}{2g}$	z	Q _c $bb_1 \sqrt{1gz}$	μ	
			ambang pintu air-masuk cm.	mertju sekat- (cm)										
M.T. (udik- pintu)	M.T ₁ (hilir pintu)	M.T ₀ (sekat ukur)	h (cm) index : 19,74	h ₁ (cm) index : 19,74	h ₀ (cm) index : 18,94	l/det.	l _d (cm) index : 19,42	(cm ²) B = 50 cm d = dasar	(cm det)	(cm)	(h + k - h ₁ (cm))	(l det)	Qsu Qo	
29,74	27,83	24,89												
29,72	27,80	24,87												
29,75	27,82	24,89												
29,78	27,89	24,89												
29,75	27,81	24,89												
rata-rata	29,748	27,812	24,892	10,003	8,072	6,922	18,526	19,626	921,40	13,89	0,10	2,036	15,210	0,888

K e t e r a n g a n :

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>M.T. = meteran taraf muka-air (m.a.) diudik pintu,
 M.T₁ = meteran taraf m.a. hilir pintu
 M.T₀ = meteran taraf m.a. pada sekat-ukur
 h = tinggi m.a. udik diatas mertju ambang (MT-index mertju ambang),
 h₁ = tinggi m.a. belakang terhadap mertju ambang (MT₁-index mertju ambang)
 h₀ = tinggi m.a. diatas mertju sekat-ukur (MT₀-index mertju sekat-ukur)
 h_d = tinggi m.a. udik terhadap dasar</p> | <p>F = luas penampang basah talang (saluran) udik,
 B = lebar talang (saluran) udik.
 V = ketjepatan air udik (ketjepatan mendatang).
 b = lebar pintu (jumlah pintu²)
 g = gravitasi.</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

berukuran penuh dengan dua buah tiangnja, dengan djumlah tiang²-nja semua 3 buah (Gambar 1, foto 2 dan 3).

Djikalau tebal tiang-model ditetapkan sebagai satuan ukuran dan diberi simbol t , sedang lebar pintu model jang berukuran penuh ditetapkan = $1\frac{1}{2}$ kali t dan diberi simbol b , maka pandjangnja model adalah

$$2 \times b + 2 \times \frac{1}{2} b + 3 t =$$

$$2 \times 1\frac{1}{2} t + 2 \times \frac{1\frac{1}{2} t}{2} + 3 \times t = 3 t + 1\frac{1}{2} t + 3 t = 7\frac{1}{2} t.$$

Model ini ditempatkan didalam talang jang lebarnya 0,50 meter.

Dengan demikian, maka $7\frac{1}{2} t = 0,50$ meter.

Tebal tiang sesungguhnya akan dibuat 1,00 m.

Angka skala model adalah 100 cm : $6\frac{2}{3}$ cm = 15.

Penjelidikan jang dilakukan dalam talang seperti ini disebut penjedi-dikan setjara dwimatra. Bangunan dalam keadaan sesungguhnya disebut prototipe.

5. TEORI PENJELIDIKAN BANGUNAN AIR DENGAN MODEL

5. 1. Apabila simbol² mengenai ukuran² dalam keadaan sesungguhnya dipergunakan huruf² besar, sedang jang mengenai model dipergunakan huruf² ketjil. Sedang untuk bilangan skalanja dipergunakan huruf n , misalnja $1 : n$, dan n dapat mempunjai ber-bagai² harga, maka persamaan² jang meng-hubungkan antara besaran² dari model dan keadaan sesungguhnya atau sebaliknya dapat disusun seperti Daftar III.

DAFTAR III

	Sesungguhnya	Model	Persamaan
Pandjang	L	l.	$L = nl.$
Lebar	B.	b.	$B = nb.$
Tinggi	H.	h.	$H = nh.$
Luas	$F = H. B.$	$f = h. b.$	$F = nhxnb =$ $n^2 hb = n^2 f.$
Isi	$I = H. B. L.$	$i = h. b l.$	$I = nhxnbxnl =$ $n^3 hbl = n^3 i.$
Ketjepatan	$V = \sqrt{2g} \sqrt{H}$	$v = \sqrt{2g} \sqrt{h}$	$V = \sqrt{2g} \sqrt{nh} = n^{\frac{1}{2}} v.$
Waktu	$T = \frac{L}{V}$	$t = \frac{l}{v}$	$T = \frac{nl.}{n^{\frac{1}{2}} v} = n^{\frac{1}{2}} t.$
Debit	$Q = V \times F$	$q = v \times f$	$Q = n^{\frac{1}{2}} v \times n^2 f = n^{\frac{5}{2}} q.$

5. 2. TJONTOH

Dari pertjobaan ini dapatlah beberapa tjontoh perhitungan dipertunjukkan untuk mengetahui besaran² dalam keadaan sesungguhnya jang sudah terhimpun dalam Daftar IV.

DAFTAR IV

Besaran	Ukuran pada model	Ukuran pada bangunan sesungguhnya
h	10,008 cm	10,008 x 15 == 1,50 m
h ₁	8,072 cm	8,072 x 15 == 1,22 m
Q	13,520 l/det.	13,520 x 15 ^{2,5} == 11,77 m ³ /det.

6. KESIMPULAN

6. 1. Dari data hasil penjelidikan jang terbatas itu dapat dilukis sebuah grafik Gambar 6. Garis jang menghubungkan titik² itu ternyata lurus. Djelaslah, bahwa djika z berubah, berubahlah harga μ . Makin besar harga z, tidak makin besar harga μ , akan tetapi sebaliknya menjadi makin ketjil. Kedjadian ini dapat diterangkan, bahwa djika z menjadi lebih besar, maka ketjepatan aliran air v jang masuk pintu menjadi lebih besar pula, sehingga arus aliran air tidak dapat mengikuti lagi bentuk bulatan tiang dibagian udik, sehingga menimbulkan kontraksi lebih besar dimulut pintu, jang berarti pula mengetjilkan harga koefisien μ .

Dengan perkataan lain μ bergantung pada z.

7. PENGALAMAN DI INDONESIA

7. 1. Menurut Begemann¹⁾ dalam tahun 1926 pernah dilakukan penjelidikan² sematjam itu dalam saluran-induk dari bendung Glapan dalam K. Tuntang, kira² 30 km disebelah Timur kota Semarang (Djawa-Tengah), jang menghasilkan $\mu = 0,95$. Sajang sekali bahwa harga z tidak di-sebut². Akan tetapi tampak dengan djelasnja, bahwa harga $\mu = 0,95$ terdapat djuga dalam grafik Gambar 6 tadi kira² pada z = 0,18 m. Walaupun tidak tepat sama, tetapi tidak akan djauh berbeda dengan kedjadian sebenarnya, djika ditetapkan sadja z = 0,18 m pada waktu diadakan penjelidikan dalam keadaan sesungguhnya di Glapan, oleh karena pada umumnya pintu²-air di Indonesia dirantjang (design) dengan z sekitar 0,10 à 0,20 m.

Dengan demikian maka dapat dikatakan, bahwa antara penjelidikan dalam keadaan sesungguhnya di Glapan ada persesuaian jang baik sekali dengan penjelidikan di laboratorium.

Harga $\mu = 0,95$ tidak di-sebut² sama sekali dalam bukunya van Maanen. Jang paling tinggi $\mu = 0,90$.

Grafik hubungan antara μ dan z dalam formula

$$Q = \mu b h_1 \sqrt{2g(z+k)}$$

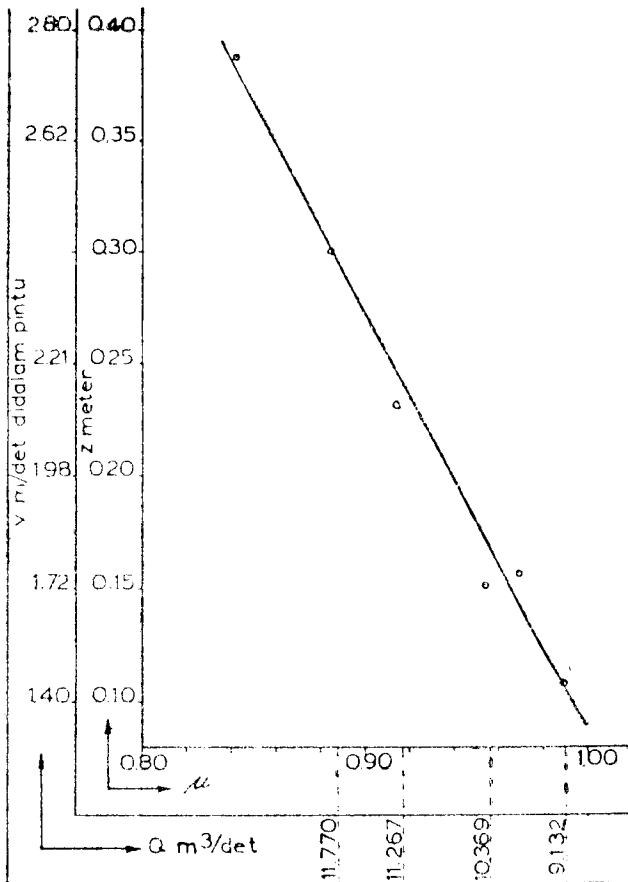
Untuk pintu-air sesungguhnya, menurut penyelidikan atas model dari Gambar 1 skala 1 : 15.

Tebal tiang $t = 1, -m.$ $b = 1\frac{1}{2} t.$ $h = 1\frac{1}{2} t.$

h = tinggi m.a. udik

h_1 = tinggi m.a. hilir

b = lebar pintu.



Gambar 6.

Masih dapat ditambahkan, bahwa yang paling berkepentingan dengan persoalan ini adalah Direktorat Irigasi, Direktorat Djendral Pengairan, Departemen Pekerdjaan Umum dan Tenaga Listrik. Apakah dalam perhitungan²-nja dengan formula² 1) atau 2) sudah dipergunakannja harga μ sekitar 0,95, tidaklah dapat disebutkan disini.

Menurut buku² Standar yang diterbitkan oleh Projek penjusunan standar perentjanaan dan buku-buku pedoman pengairan di Bandung tahun 1970/1971, bagian dari Departemen tersebut, tidak terdapat harga $\mu = 0,95$, walaupun persoalan ini sudah diumumkan oleh Begemann (1931).

KEPUSTAKAAN

1. Begemann, S. H. A., **Toepassing van de Waarschijnlijkheidsleer op hydrologische waarnemingen**. Waterstaats-ingenieur N^o. 1, 2, 3 tahun 1931, Weltevreden.
2. **Die Wasserbaulaboratorien Europas**. Verein Deutscher Ingenieure, 1926.
3. Forschheimer, Philipp, **Hydraulik**, Verlag und Druck von B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1930, Dritte Auflage, 1930.
4. **Hydraulic Laboratory Practice**, edited by John R. Freeman, The American Society of Mechanical Engineers, New York, N.Y. 1929.
5. Koch-Carstanjen, **Bewegung des Wassers und den dabei auftretende Kräfte**, Julius Springer, Berlin, 1926.
6. Maanen, Th. D. van, **Irrigatie in Nederlandsch-Indië**, Visser & Co., Weltevreden, 1924 (Edisi I), 1932 (Edisi 2).
7. Rechbock, Th., **Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure** 73, Berlin 1929, halaman 817.
8. Rouse, Hunter, **Engineering Hydraulics**, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1950.

(Diterima 1 Mei 1972).