

KALIBRASI ALAT UKUR DEBIT PADA MODEL SALURAN DENGAN RECHBOX (HULU) DAN THOMPSON (HILIR)

Lies Kurniawati Wulandari¹, Maranatha Wijayaningtyas²

¹Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Sigura-Gura no. 2 Malang
Email: lieskurniawatiw@lecturer.itn.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Sigura-Gura no. 2 Malang
Email: maranatha.wijaya@gmail.com

ABSTRACT

Measure instrument of discharge in this experiment was calibrated before the experiment took place, in order to decrease the experiment relative error smaller than 5%. Physical model of distribution box has ratio 1 : 1 in prototype and it has used verification in order to get result carefulness that fulfils the prerequisite. There are three conditions in this testing, that is one channel operations, three channels operation and three channels operation with discharge plan on two channels (right and left) and one door operation to frontal side. It using six variations discharge testing to stream flow type respectively on distribution box in order to get discharge distribution pattern. One channel has gotten the same headwaters discharge and downstream discharge. Three channels has gotten discharge coefficient (Cd) 0.56 and friction coefficient (f) 0.046, where as discharge distribution has gotten ratio 11.44%, 71.24% and 18.35% (no door). Three channels that using door has gotten discharge distribution in ratio 12.68%, 65.89%, and 21.05% (a = 4 cm, frontal) and 11.77%, 68.90% and 19.33% (a = 8 cm, frontal) on discharge plan has gotten equation on pipe one $y = 0.1097 (h)^{1.4901}$ and on pipe three $y = 0.1017 (h)^{1.566}$, with the result that discharge that happen is reasonable to pipe diameter, discharge variation and high variation of opening door (a)

Keywords: Calibration of Discharge Measuring Instrument; Channel; Rechbox (upstream) and Thompson (downstream)

ABSTRAK

Alat ukur debit pada percobaan dikalibrasi sebelum percobaan dimulai, agar kesalahan relatif percobaan lebih kecil dari 5 %. Model fisik bangunan bagi tersebut ditetapkan berbanding 1 : 1 dengan prototipe dan diupayakan melalui verifikasi untuk memiliki ketelitian hasil yang memenuhi persyaratan yang dikehendaki. Terdapat 3 kondisi dalam pengujian ini, yakni pengoperasian satu saluran, pengoperasian tiga saluran, dan pengoperasian tiga saluran dengan debit rencanan pada dua saluran (kanan dan kiri) dengan pengoperasian satu pintu pada arah frontal. Melalui pengujian dengan 6 variasi debit untuk masing – masing jenis aliran pada bangunan bagi didapatkan pola pembagian debit. Untuk satu saluran didapatkan debit hulu dan debit hilir sama. Pada pengoperasian tiga saluran didapatkan koefisien debi (Cd) 0.56 dan koefisien gesekan (f) 0.046, sedangkan untuk pembagian debit didapat dengan perbandingan 11.44 %, 71.24 %, dan 18.35 % (tanpa pintu). Sedangkan pada tiga saluran dengan menggunakan pintu mendapatkan pembagian debit dengan perbandingan 12.68 %, 65.89 % dan 21.05% (a=4 cm, frontal) dan 11.77%, 68.90 % dan 19.33 % (a = 8 cm, frontal). Pada debit rencana didapat persamaan pada pipa satu $y = 0.1097 (h)^{1.4901}$ dan pada pipa tiga $y = 0.1017 (h)^{1.567}$, sehingga debit yang terjadi adalah proporsional terhadap diameter pipa, variasi debit dan variasi tinggi bukaan pintu (a).

Kata Kunci: Kalibrasi Alat Ukur Debit; Saluran; Rechbox (hulu) dan Thompson (hilir)

I. PENDAHULUAN

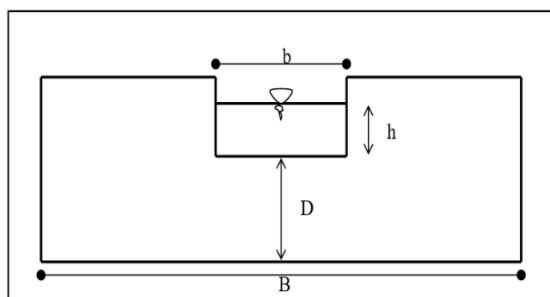
Alat ukur debit yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat ukur jenis *Rechbox* dan *Thompson* yang sudah tersedia di Laboratorium Hidrolika. Dalam penggunaannya kedua alat tersebut mempunyai batasan tertentu yang berkaitan dengan tinggi muka air minimum agar terjadi pelimpahan secara

sempurna. Kalibrasi mempunyai makna pengujian atau pencocokan. Secara umum dapat didefinisikan sebagai pengujian suatu alat yang dianggap belum akurat (tepat) dengan cara membandingkan hasil pengukuran berdasarkan alat yang akan diuji dengan hasil pengukuran alat yang dianggap tepat/ standar.

Analisis kalibrasi untuk mengetahui apakah alat yang akan diuji sudah memenuhi syarat atau belum, dapat dilakukan dengan melihat kesalahan relatif dari alat yang akan diuji. Kemudian dibandingkan dengan kesalahan relatif yang diperbolehkan dari alat yang diuji sesuai standart dari pabrik pembuat alat (*Sosrodarsono dan Takeda, 1978*). Apabila dari analisis alat tersebut sudah memenuhi syarat, maka verifikasi (penyesuaian) tidak perlu dilakukan. Sebaliknya jika alat yang diuji tidak memenuhi syarat, maka verifikasi harus dilakukan dengan cara memperbaiki atau menyempurnakan alat ukur tersebut. Selanjutnya proses kalibrasi dapat dilakukan lagi. Penyesuaian akhir dapat dilakukan dengan menambah suatu tetapan pada hasil (debit aliran) alat ukur yang diuji.

1.1 Alat ukur debit rechbox

Alat ukur jenis *Rechbox* adalah pelimpah ambang tipis yang berbentuk segi empat dengan garis arusnya diatas ambang melengkung, tidak ada satupun garis arus yang lurus diatas ambang, sehingga diagram tekanan tidak lagi hidrostatis karena adanya gaya sentrifugal (*Anggrahini, 1983*). Dimensi dan persyaratan yang telah ditentukan oleh Japan Industrial Standard (J.I.S) diberikan sebagai berikut:



Gambar 1. Alat ukur debit *Rechbox* (*Sosrodarsono, 1983 : 202*)

Debit yang melimpah pada sebuah alat ukur *Rechbox* dapat kita hitung secara analitis dengan menggunakan persamaan berikut (*Sosrodarsono, 1983 : 202*) :

$$Q = k.b.h^{3/2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

Q = debit yang melalui Rechbox (m^3/det)

k = koefisien debit

b = lebar ambang (m)

h = tinggi air diatas ambang (m)

Koefisien debit (k) dari alat ukur ini dihitung berdasarkan persamaan berikut (*Sosrodarsono 1983 : 202*) :

$$k = 1.785 + \frac{2.95 \cdot 10^{-3}}{h} + 0.23667 \frac{h}{D} - 0.42833 \sqrt{\frac{(B-b)h}{DB}} + 0.034 \sqrt{\frac{B}{D}}$$

Dimana :

k = koefisien debit

b = lebar ambang (m)

B = lebar saluran (m)

h = tinggi air diatas ambang (m)

D = tinggi mercu dari dasar saluran (m)

Interval yang diterapkan dalam persamaan diatas adalah :

$$B = 0.5 \text{ m} - 6.30 \text{ m}$$

$$D = 0.15 \text{ m} - 5.5 \text{ m}$$

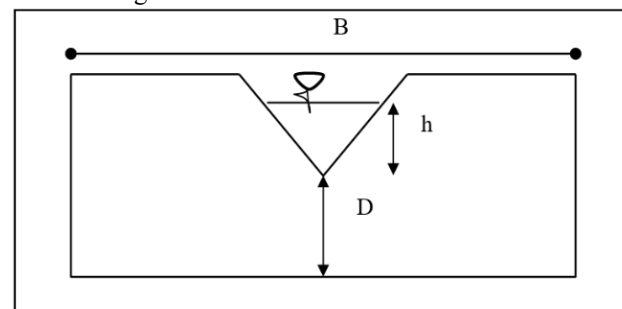
$$B = 0.15 \text{ m} - 5.00 \text{ m}$$

$$h = 0.03 \text{ sampai } 0.45 \sqrt{b}$$

Sedangkan kesalahan debit yang diperbolehkan sebesar 5 %.

1.2 Alat ukur debit thompson

Dimensi dan persyaratan yang telah ditentukan adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Alat ukur debit *Thompson* (*Sosrodarsono, 1983 : 201*)

Debit yang melimpah diatas alat ukur *Thompson* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (*Sosrodarsono, 1983 : 201*) :

$$Q = k.h^{5/2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

Q = debit yang lewat Thompson (lt/det).

h = tinggi air diatas mercu (cm)

k = koefisien debit

Koefisien debit (k) alat ukur *Thompson* dihitung dengan (*Sosrodarsono, 1983 : 201*):

$$k = 1.35333 + \left[\frac{0.004}{h} + 0.01667 \left(8.4 + \frac{12}{\sqrt{D}} \right) \right] \left[\frac{h}{B} - 0.09 \right]^2$$

Dimana :

k = koefisien debit

h = tinggi air diatas mercu (m)

D = tinggi mercu dari dasar saluran (m)

B = lebar saluran (m)

Interval yang diterapkan dalam persamaan diatas adalah :

B	0.5 m sampai 1.20 m.
D	0.10 m sampai 0.75 m
h	0.07 sampai 0.26 m

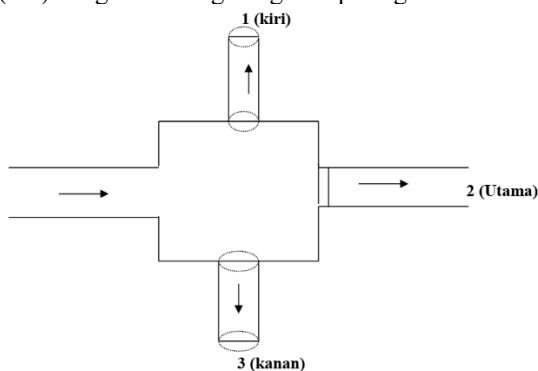
2. METODE PENELITIAN

2.1 Perencanaan model bangunan

Model bangunan direncanakan dengan menggunakan perbandingan skala 1 : 1, yakni ukuran model sama dengan prototipe. Model terdiri dari sebuah saluran utama berbentuk segi empat dan saluran kiri menggunakan pipa dengan diameter 3" sedangkan saluran kanan menggunakan pipa dengan diameter 4". Ujung hulu saluran dihubungkan dengan alat ukur debit *Rechbox*, sedangkan ujung hilir dihubungkan dengan tiga alat ukur debit *Thompson*. Hulu ambang dilengkapi dengan pintu yang berfungsi untuk mengatur aliran. Pada model fisik tersebut diatas, elevasi pipa kanan dan kiri adalah sama dengan tinggi ambang pada arah frontal yaitu 20.26 cm. Sedangkan diameter pipa kanan adalah 4 " (10.2 cm) dan diameter pipa kiri adalah 3" (7.65 cm), sedangkan pada saluran arah frontal dengan $b_{sal} = 30$ cm ; $B_{sal} = 60$ cm ; $Z_{amb} = 20.26$; $b_{amb} = 30$ cm ; $L_{amb} = 30$ cm dengan pengoperasian bukaan pintu yang bervariasi.

2.2. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Hidrolika Teknik Pengairan Brawijaya Malang. Adapun fisik bangunan tersebut adalah prototipe (1:1) dengan rancang bangun seperti gambar 3.1.



Gambar 3 : Gambar model fisik bangunan bagi dengan menggunakan ambang lebar dan pipa.

2.3 Pengujian model

Perlakuan pada model mengacu pada adanya keterbatasan pada sarana di laboratorium, baik untuk keterbatasan kapasitas pompa maupun dimensi saluran percobaan. Pendekatan yang dilakukan dalam perencanaan model box bagi adalah sebagai berikut :

a. Data perencanaan meliputi:

- Debit maksimum perencanaan sebesar 40 lt/det dengan kedalaman muka air normal (H_1) adalah 29.3210 cm.
- Penampang geometris saluran, kekasaran saluran dan kemiringan (*slope*).

b. Perencanaan ambang lebar

Panjang ambang lebar (L) sebesar 30 cm yang masih masuk dalam batasan teknis kriteria ambang lebar sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh M.G.Bos 1976. Dengan menggunakan persamaan enersi spesifik dengan lebar ambang direncanakan sebesar 30 cm didapatkan bahwa tinggi ambang (ΔZ) adalah 20.26 cm.

Perhitungan untuk merencanakan tinggi ambang (ΔZ) dan panjang ambang (L) disajikan dalam lampiran 1.

a. Perencanaan pemasangan pipa

Panjang pipa (L) sebesar 100 cm dengan diameter pipa pada saluran kiri 3" (7.620 cm) sedangkan pada saluran kanan dipasang pipa dengan diameter 4" (10.160 cm).

b. Perlakuan box bagi

Perlakuan yang dilakukan pada penelitian box bagi ini meliputi perlakuan dengan pintu dan tanpa pintu.

Adapun perlakuan tersebut meliputi :

- Pengoperasian satu saluran (dengan dan tanpa pintu)
- Pengoperasian tiga saluran (dengan dan tanpa pintu)
- Debit rencana dengan variasi bukaan pintu.

c. Perlakuan debit.

Serangkaian debit yang akan diujikan untuk masing – masing alternatif adalah untuk debit sebesar : 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, dan 40 lt/det.

2.4. Macam penelitian

a. Bangunan bagi dengan pengoperasian satu saluran
1. Aliran bebas tanpa pintu (dengan pintu dibuka penuh)

2. Aliran bebas dengan bukaan pintu (a) 4 cm

3. Aliran bebas dengan bukaan pintu (a) 8 cm.

b. Bangunan bagi dengan pengoperasian tiga saluran

1. Aliran bebas tanpa pintu (dengan pintu dibuka penuh)

2. Aliran bebas dengan bukaan pintu (a) 4 cm

3. Aliran bebas dengan bukaan pintu (a) 8 cm.

c. Bangunan bagi dengan debit rencana.

1. Direncanakan debit maksimum pada pipa kanan 40 lt/det

2. Dengan menggunakan variasi bukaan pintu dan variasi debit.

2.5. Prosedur penelitian

2.5.1. Kalibrasi alat ukur debit

1. Persiapan

Model fisik bangunan box bagi beserta saluran dan dimensinya seperti pada gambar 6, tetapi pada saluran kanan dan kiri masih dibuat saluran dengan dimensi yang sama dengan arah frontal. Pada arah frontal tidak perlu dipasang ambang atau dan pintu. Sebelum dilaksanakan kalibrasi, maka perlu disiapkan beberapa peralatan antara lain:

- Model fisik *Rechbox* (gambar 1 dengan ukuran $b = 0.955$ m ; $B = 2.63$ m ; $D = 2.275$ m)
- Model fisik *Thompson* 1 (kiri) dengan ukuran $D = 0.165$ m ; $B = 0.80$ m
- Model fisik *Thompson* 2 (utama/tengah/ frontal) dengan ukuran $D = 0.41$ m ; $B = 1.01$ m)
- Model fisik *Thompson* 3 (kanan) dengan ukuran $D = 0.155$ m ; $B = 0.97$ m
- Pompa air
- Tandon air
- Stop watch
- Ember (kaleng) untuk takaran pada *Thompson* hilir
- Gelas ukur
- Air untuk percobaan dengan beberapa variasi tinggi muka air (h) pada *Rechbox* (hulu)
- Alat duga air (point gauge)
- Pitot tube
- Water pass.

2. Pelaksanaan Kalibrasi

Persyaratan pengukuran tinggi air di *Rechbox* adalah sebagai berikut :

- Pengukuran tinggi air dilakukan dengan pengamatan permukaan air dalam tangki kecil yang dihubungkan dengan saluran melalui lubang yang kecil dalam dinding samping saluran seperti pada gambar 1.
- Lubang kecil tersebut diatas harus terletak minimum 200 mm dan maksimum B (lebar saluran) di hulu sisi depan bendung terletak sekurang-kurangnya 50 cm lebih rendah dari titik terendah, mercu bagian bawah atau mercu bendung tersebut terletak 50 cm atau lebih diatas dasar saluran. Sekeliling lubang harus licin dan tidak boleh terdapat penghalang.
 - Ketelitian pengukuran tinggi air harus lebih kecil dari 0.2 mm.
 - Pengukuran tinggi air dilaksanakan sesudah air dalam tangki tersebut dalam kondisi tenang.
 - Ambil air pada *Thompson* hilir dengan sebuah takaran, stop watch digunakan pada saat pengambilan tersebut. Sehingga akan didapat hasil dengan satuan liter/detik.
 - Ulangi cara diatas dengan ketinggian air yang berbeda-beda.

3. Analisis

Dengan mengalirkan beberapa variasi ketinggian muka air (h), maka akan didapat data Q_{takar} dengan

waktu tertentu. Sehingga akan didapat grafik hubungan antara:

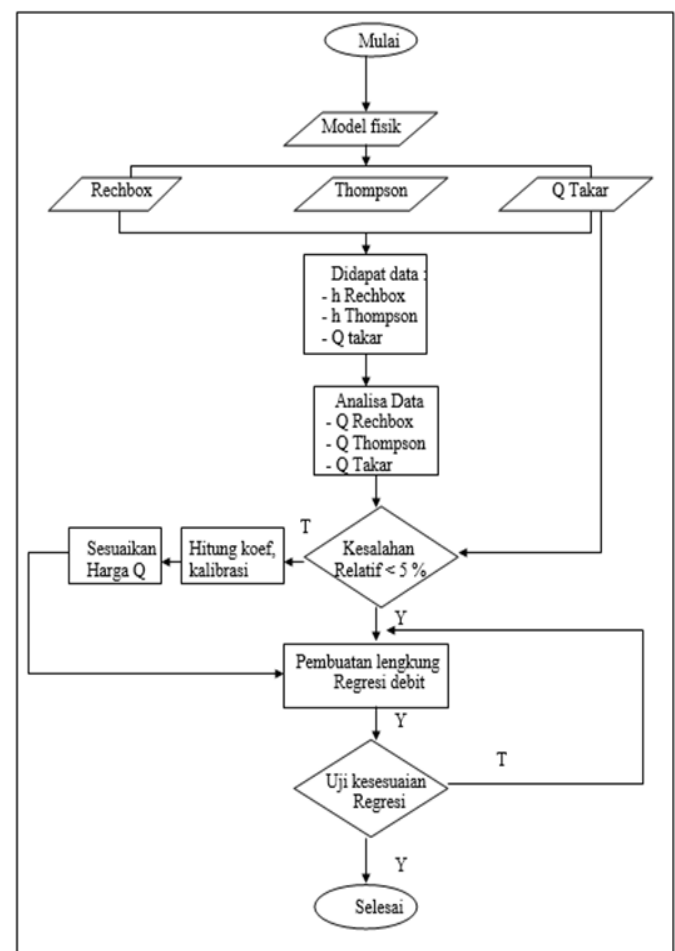
- Tinggi muka air (h) dengan Q_{takar}
- Tinggi muka air (h) dengan Q_{takar} kalibrasi sehingga akan mendapatkan persamaan baru.

2.5.2 Box bagi dengan pengoperasian satu saluran

1. Persiapan

Pada penelitian bangunan box bagi ambang lebar dengan saluran tunggal, maka yang perlu kita siapkan adalah:

- Siapkan model fisik saluran pada box bagi ambang lebar beserta pintu yang akan diletakkan diatas ambang lebar pada arah frontal.
- Pastikan pompa air dalam keadaan baik
- Pada saluran kanan dan kiri ditutup dengan pintu supaya tidak terjadi kebocoran.
- Siapkan beberapa variasi debit yang akan dialirkan pada box bagi tersebut.



Gambar 4 : Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kalibrasi Alat Ukur Debit

Sebelum melaksanakan penelitian, maka terlebih dahulu kita melaksanakan kalibrasi alat ukur debit yang mengacu pada hukum bejana berhubungan yaitu jika tinggi muka air pada ketiga bejana dalam kondisi konstan, maka $Q_1 = Q_2 = Q_3$. Proses perhitungan kalibrasi dilakukan dengan menghitung besarnya kesalahan relatif yang terjadi antara debit takar (Q_{takar}) dengan debit perhitungan (Q_{teoritis}). Batasan besarnya kesalahan relatif diambil 5 %. Apabila kesalahan relatif rata-rata yang terjadi lebih kecil, maka kalibrasi hanya dilakukan dengan penyesuaian kurva dan sebaliknya apabila lebih besar, perlu dicari koefisien kalibrasi (Priyantoro dan Suprijanto 1998 : 32). Dari tabel 9, dapatlah digambarkan suatu diagram pencar (*Scatter diagram*) antara dua variabel h dan Q yang merupakan suatu grafik hubungan antara debit takar (Q_{takar}) dengan tinggi muka air (h) pada masing-masing alat ukur debit. Jika kita lihat grafik pada saluran 1, 2 dan 3 maka terlihat bahwa semakin besar debit maka semakin besar pula tinggi muka air. Kalau Q_{takar} sudah didapatkan maka Q_{teoritis} dihitung. Dari hasil perhitungan maka didapatkan sebuah persamaan:

$$* \text{Thompson 1} = 0.0144 (h)^{2.5087}$$

$$* \text{Thompson 2} = 0.0117 (h)^{2.6035}$$

$$* \text{Thompson 3} = 0.0148 (h)^{2.476}$$

Tabel 1. Hubungan Tinggi Muka Air (H) dan Debit Takar (Q_{takar})

No	H U L U		H I L I R		H I L I R		H I L I R	
	h Rechbox		Q1 takar	Q2 takar	Q3 takar	h Thomp		
	(cm)	(m)	(lt/det)	(lt/det)	(lt/det)	(cm)	(m)	
1	0.50	0.005	0.6216	0.654	0.612	4.440	0.044	
2	0.75	0.008	1.105	1.220	1.055	5.670	0.057	
3	1.00	0.010	2.119	2.138	1.982	7.330	0.073	
4	1.25	0.013	3.021	3.456	3.137	8.570	0.086	
5	1.50	0.015	4.235	4.352	3.981	9.680	0.097	
6	1.75	0.018	4.515	4.774	4.346	9.930	0.099	
7	2.00	0.020	5.536	5.829	5.429	10.470	0.105	
8	3.00	0.030	8.934	12.342	10.993	13.380	0.134	
9	4.00	0.040	13.172	19.686	17.351	15.780	0.158	
10	5.00	0.050	17.802	28.278	24.720	17.900	0.179	
11	6.00	0.060	22.769	38.017	33.011	19.820	0.198	

H I L I R		H I L I R		H I L I R		H I L I R	
Q1 takar	h Thomp	Q2 takar	h Thomp	Q3 takar			
(lt/det)	(cm)	(lt/det)	(cm)	(lt/det)			
0.6216	4.700	0.047	0.654	0.690	0.007	0.0059	
1.1050	5.930	0.059	1.220	3.170	0.032	0.2591	
2.1188	7.480	0.075	2.138	4.510	0.045	0.6612	
3.0208	8.700	0.087	3.456	5.290	0.053	0.9204	
4.2348	9.600	0.096	4.352	5.800	0.058	1.0545	
4.5154	10.110	0.101	4.774	7.210	0.072	1.9808	
5.5356	11.000	0.110	5.829	7.260	0.073	1.9823	
9.6592	13.550	0.136	10.396	8.630	0.086	3.1370	
14.6064	15.960	0.160	15.915	9.640	0.096	3.9812	
20.0341	18.020	0.180	21.826	9.840	0.098	4.3458	
25.8635	20.130	0.201	29.113	10.760	0.108	5.4286	

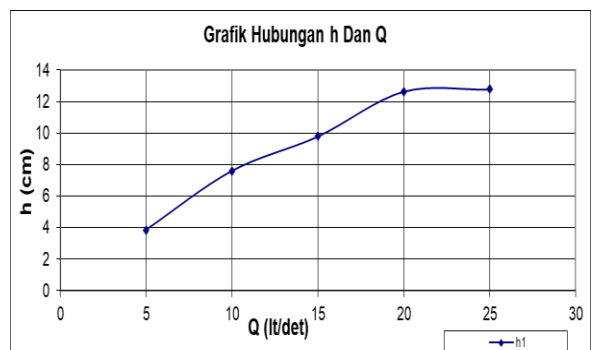
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 2 Kesalahan relatif pada saluran tunggal tanpa pintu

No	Q_{hulu}	A	h	V_{akt}
	(lt/det)	(cm^2)	rerata	(cm/det)
1	5.0	115.9	0.96	43.47
2	10.0	227.9	0.99	44.07
3	15.0	293.4	1.34	51.27
4	20.0	378.9	1.43	52.91
5	25.0	385.1	2.15	64.95
Kesalahan relatif rata-rata				

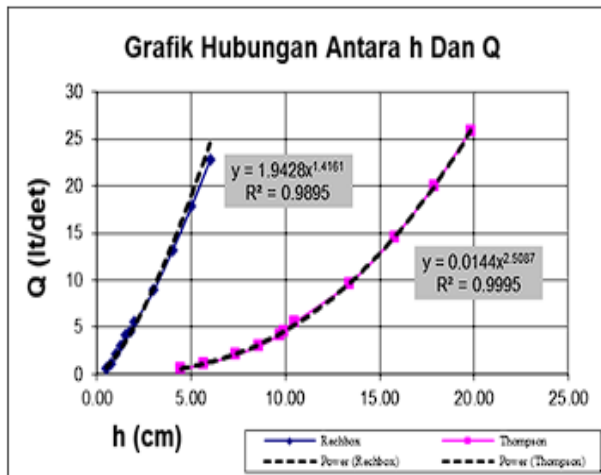
Q_{akt}	V_{teoritis}	Q_{teoritis}	Kesalahan
	(hitung)	(hitung)	Relatif (%)
5.0	47.01	5.45	8.13
10.0	47.49	10.82	7.75
15.0	54.15	15.89	5.62
20.0	55.18	20.91	4.29
25.0	67.40	25.95	3.77
			5.91

Sumber: Hasil Perhitungan

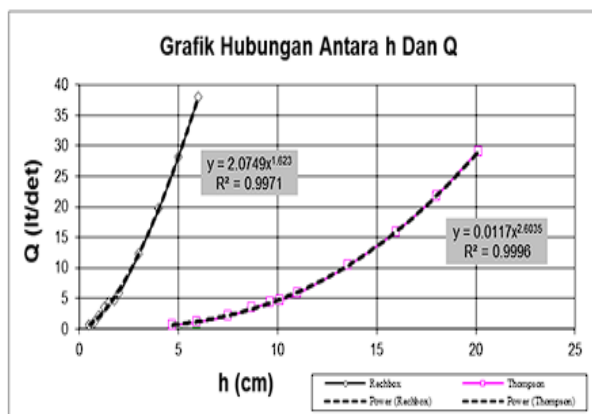


Gambar 4.6 Grafik hubungan h dan Q pada saluran tunggal tanpa pintu

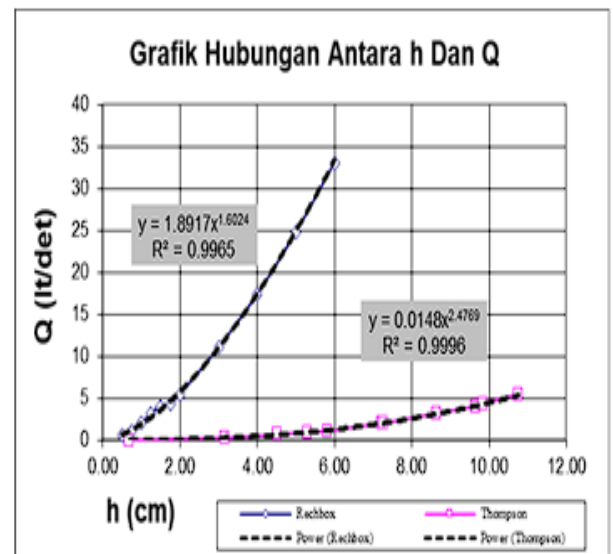
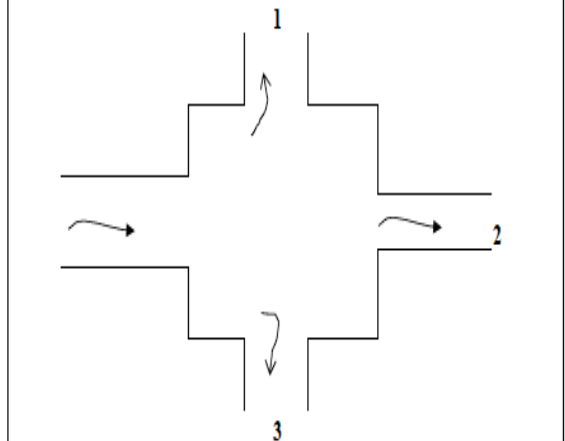
Saluran 1

Gambar 4.1 Kalibrasi Alat Ukur Debit *Rechbox-Thompson* Pada Saluran

Saluran 2

Gambar 4.2 Kalibrasi Alat Ukur Debit *Rechbox-Thompson* Pada Saluran 2

Saluran 3

Gambar 4.3 Kalibrasi Alat Ukur Debit *Rechbox-Thompson* Pada Saluran 3

Gambar 4.4 Denah Bangunan Bagi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisa hitungan dan pembahasan maka dapat disimpulkan beberapa hal penting. Berdasarkan hasil kalibrasi pada model fisik, alat ukur Thompson (V-notch) menunjukkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi untuk debit kecil dibandingkan Rechbox. Hal ini ditunjukkan oleh grafik hubungan tinggi muka. "Alat ukur Thompson memiliki keunggulan pada akurasi debit kecil karena bentuk v-notch yang memaksa aliran terkonsentrasi di titik terendah, sedangkan Rechbox lebih unggul dalam stabilitas pada debit yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, 1975. *Operation and Maintenance Study*. Present Practices (Part I).
Directorat General of Water Resources Development, Ministry of Public Work. Jakarta.

- Bos,M.G(ed) 1978. *Discharge Measurements Structure*. Working Group on Small Hydrolic Structures. Oxford and IBH Publishing New Delhi. P.464.
- Chow,Ven.Te 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Terjemahan . Penerbit Erlangga. Jakarta. 657 Hal.
- Dake. Jonas MK. 1985. *Hidrolika Teknik*. Terjemahan. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- French. Richard.H. 1986. *Open Channel Hydrolics*. International Student Edition Mc Graw-Hill Book Company. Singapore. P. 705.
- Henderson. F.M 1966. *Open Channel Flow*. Mac Millian Co. Inc. and Collier Mac Millian Pulishers. London. P.522.
- Lim,Y.C, dan Kim, D.S, 1981. *Hidraulic Design Practice of Canal Structures*. Korea Rural Envirorumental Development Institute. Korea. P. 353.
- Priyantoro, D. 1991. *Hidrolika Saluran Tertutup*. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang. 106. Hal.
- Purwaningsih Sri. 1997. *Uji Model Fisik Pola Pembagian Debit Pada Bangunan Bagi Yang Memanfaatkan Ambang Lebar Dengan Penambahan Conduit*. Tesis (S2 Teknik Sumberdaya Air) Universitas Brawijaya Malang.
- Ranga Raju K.G. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka*. Jakarta : Erlangga.
- Triatmodjo Bambang, 1993. *Hidraulika I*. Penerbit Beta Offset. Yogyakarta. 186.Hal.