

dreamlitera

**PENGGUNAAN BANGUNAN BAGI AMBANG LEBAR
DENGAN PENAMBAHAN
PIPA
M E L A L U I U J I M O D E L F I S I K**

Dr. Ir. Lies Kurniawati Wulandari, MT.

**Dream Litera Buana
Malang 2020**

dreamlitera

**PENGUNAAN BANGUNAN BAGI AMBANG LEBAR
DENGAN PENAMBAHAN PIPA MELALUI UJI MODEL FISIK**

Penulis:

Dr. Ir. Lies Kurniawati Wulandari, MT.

©Dream Litera Buana
Malang 2020
104 halaman, 15,5 x 23 cm

ISBN:

Diterbitkan oleh:
CV. Dream Litera Buana
Perum Griya Sampurna, Blok E7/5
Kepuharjo, Karangploso, Kabupaten Malang

Email: dream.litera@gmail.com
Website: www.dreamlitera.com
Anggota IKAPI No. 158/JTI/2015

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau
seluruh isi buku ini dengan cara apapun,
tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan pertama, Januari 2020

Distributor:
Dream Litera Buana

Prakata

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan buku ini yang “Penggunaan Bangunan Bagi Ambang Lebar dengan Penambahan Pipa Melalui Uji Model Fisik”. Buku ini membahas tentang pola pembagian debit yang terjadi pada bangunan bagi tersier, sub tersier, kuartier dan sekunder secara proporsional terhadap diameter pipa kanan dan kiri dengan pendekatan uji model fisik yang dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika terapan, Jurusan Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.

Penulis mengucapkan terima kasih dan apresiasi setinggi-tingginya kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini. Selain itu, penulis juga menyadari bahwa buku ini tentu tidak terlepas dari kekurangan, baik terkait isi maupun penulisannya. Atas hal tersebut, penulis mengucapkan permohonan maaf, sekaligus membuka pintu kritik dan saran

yang konstruktif dari pembaca. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, sekaligus bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang teknik sipil, khususnya terkait sumber daya air.

Malang, Januari 2020

Penulis

PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN	1
BANGUNAN BOX BAGI	4
1. Model Bangunan	4
2. Kalibrasi Alat Ukur Debit	5
3. Alat Ukur Debit Rechbox	6
4. Alat Ukur Debit Thompson	8
5. Aliran Melalui Pelimpah Ambang Lebar	9
6. Aliran Dibawah Bukaam Pintu	10
7. Jenis Aliran.....	13
8. Proporsionalitas Debit	17
EKSPERIMEN	19
1. Pendahuluan	19

2. Metode.....	20
a. Perencanaan Model Bangunan	20
b. Lokasi Percobaan.....	20
c. Pengujian Model	21
d. Macam Percobaan.....	23
3. Prosedur dan Percobaan	23
a. Kalibrasi Alat Ukur Debit.....	23
b. Pengoperasian Satu Saluran.....	26
c. Pengoperasian Tiga Saluran	28
4. Hasil Percobaan	30
a. Kalibrasi Alat Ukur Debit.....	30
b. Pengoperasian Satu saluran	33
1) Aliran Bebas Tanpa Pintu	33
2) Aliran Bebas Dengan Bukaannya Pintu 4 cm	35
3) Aliran Bebas Dengan Bukaannya Pintu 8 cm	37
c. Pengoperasian Tiga Saluran	39
1) Aliran Bebas Tanpa Pintu	39
2) Aliran Bebas Dengan Bukaannya Pintu 4 cm	42
3) Aliran Bebas Dengan Bukaannya Pintu 8 cm	44
d. Debit Rencana Pada Saluran.....	47
5. Kesimpulan Percobaan	54
6. Penutup	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57
BIODATA PENULIS.....	59
LAMPIRAN.....	61

Tabel 1. Hubungan antara $a/H1$ dengan koefisien kontraksi (Cc)	12
Tabel 2. Kekentalan pada air.....	15
Tabel 3. Pengoperasian satu saluran aliran bebas tanpa pintu	26
Tabel 4. Pengoperasian satu saluran aliran bebas dengan pintu ($a=4$ cm)	27
Tabel 5. Pengoperasian satu saluran aliran bebas dengan pintu ($a=8$ cm)	27
Tabel 6. Pengoperasian tiga saluran aliran bebas tanpa pintu	29
Tabel 7. Pengoperasian tiga saluran aliran bebas dengan pintu ($a=4$ cm)	29
Tabel 8. Pengoperasian tiga saluran aliran bebas dengan pintu ($a=8$ cm)	30
Tabel 9. Hubungan tinggi muka air dan debit takar pada kalibrasi.....	31
Tabel 10. Tinggi muka air dan debit pada saluran tunggal	34

Tabel 11. Kesalahan relatif pada saluran tunggal tanpa pintu	34
Tabel 12. Hubungan tinggi muka air dan debit dengan $a=4$ cm	35
Tabel 13. Kesalahan relatif pada saluran tunggal dengan $a=4$ cm	36
Tabel 14. Hubungan tinggi muka air dengan debit $a=8$ cm	37
Tabel 15. Kesalahan relatif pada saluran tunggal dengan $a=8$ cm	38
Tabel 16. Hubungan H dan Q pada saluran dua	40
Tabel 17. Kesalahan relatif pada saluran dua	40
Tabel 18. Tinggi muka air pada saluran satu	40
Tabel 19. Tinggi muka air pada saluran tiga.....	41
Tabel 20. Rekapitulasi tiga saluran tanpa pintu.....	41
Tabel 21. Tinggi muka air pada saluran dua dengan $a=4$ cm	43
Tabel 22. Tinggi muka air pada saluran satu	43
Tabel 23. Debit pada saluran tiga.....	43
Tabel 24. Rekapitulasi debit pada tiga saluran dengan $a=4$ cm	44
Tabel 25. Debit pada saluran 2 dengan $a=8$ cm	45
Tabel 26. Debit pada saluran satu	46
Tabel 27. Debit pada saluran tiga.....	46

Tabel 28. Rekapitulasi debit pada 3 saluran dengan $a = 8 \text{ cm.}$	46
Tabel 29. Variasi bukaan pintu dengan debit rencana saluran 2	49
Tabel 30. Variasi bukaan pintu dengan debit rencana saluran 1	49
Tabel 31. Variasi bukaan pintu dengan debit rencana saluran 3	50
Tabel 32. Rekapitulasi debit rencana pada pengoperasian 3 saluran dengan variasi bukaan pintu	52
Tabel 33. Debit rencana dengan variasi bukaan pintu pada saluran dua	53
Tabel 34. Debit rencana dengan variasi bukaan pintu pada saluran satu	53
Tabel 35. Debit rencana dengan variasi bukaan pintu pada saluran tiga	54
Tabel 36. Rekapitulasi Debit Rencana pada Peroperasian tiga saluran dengan variasi bukaan pintu	54

Daftar Gambar

Gambar 1. Pola pembagian debit pada bangunan bagi tersier.....	3
Gambar 2. Model bangunan bagi ambang lebar dengan penambahan pipa	5
Gambar 3. Alat ukur debit <i>rechbox</i>	6
Gambar 4. Alat ukur debit <i>thompson</i>	8
Gambar 5. Aliran diatas pelimpah ambang lebar	10
Gambar 6. Aliran dibawah pintu pengatur	11
Gambar 7. Model fisik bangunan bagi dengan menggunakan ambang lebar dan pipa	21
Gambar 8. Kalibrasi alat ukur <i>Rechbox – Thompson</i> pada saluran satu	31
Gambar 9. Kalibrasi alat ukur <i>Rechbox – Thompson</i> pada saluran dua	32
Gambar 10. Kalibrasi alat ukur <i>Rechbox – Thompson</i> pada saluran tiga.....	32
Gambar 11. Denah bangunan bagi.....	33

Gambar 12. Grafik hubungan h dan Q pada saluran tunggal tanpa pintu	34
Gambar 13. Grafik hubungan h dan Q pada saluran 2	36
Gambar 14. Grafik hubungan a/h_1 dan C_d pada saluran 2.....	36
Gambar 15. Grafik hubungan h dan Q pada saluran 2	38
Gambar 16. Grafik hubungan a/h_1 dan C_d pada saluran 2.....	38
Gambar 17. Grafik hubungan $h-Q$ pada saluran 1-3 dg pengoperasian tiga Saluran.....	41
Gambar 18. Grafik hubungan $h-Q$ pada saluran 1-3 dg pengoperasian tiga Saluran ($a = 4$ cm).....	44
Gambar 19. Grafik hubungan $h-Q$ pada saluran 1-3 dg pengoperasian tiga Saluran ($a = 8$ cm).....	47
Gambar 20. Grafik hubungan $h-C_d$ pada pipa 1	50
Gambar 21. Grafik hubungan $h-C_d$ pada pipa 3	51
Gambar 22. Grafik hubungan $a-h$ pada pipa 1 dan 3.....	51
Gambar 23. Grafik hubungan tinggi muka air dan debit pada pipa 1 dan 3	52

Daftar Lampiran

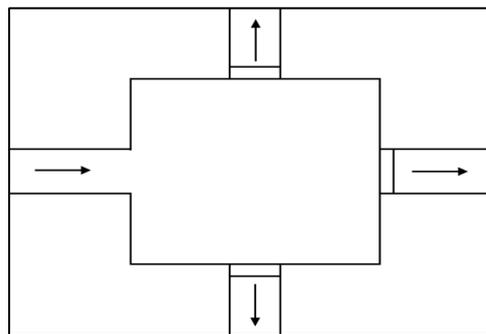
Lampiran 1. Perancangan Model Bangunan.....	60
Lampiran 2. Kalibrasi Alat Ukur Debit Rechbox – Thompson	66
Lampiran 3. Data dan Perhitungan Saluran Tunggal Tanpa Pintu.....	82
Lampiran 4. Data dan Perhitungan Saluran Tunggal dengan $a = 4$ cm	84
Lampiran 5. Data dan Perhitungan Saluran Tunggal dengan $a = 8$ cm	86
Lampiran 6. Data dan Perhitungan Saluran Utama dengan Aliran Modular	88

Dalam perkembangan teknologi pertanian saat ini, varietas tanaman semakin beraneka ragam dan menuntut pengelolaan pembagian air yang tepat guna, maka seluruh prasarana di daerah – daerah pertanian harus dikembangkan. Untuk pengembangan suatu daerah, maka diperlukan suatu jaringan-jaringan irigasi secara teknis. Jaringan irigasi teknis adalah jaringan irigasi, dimana semua bangunan dan pembagian air sampai pengambilan tersier dapat dikontrol oleh dinas PU Pengairan (Anonymous, 1975). Perencanaan jaringan irigasi dibuat sedemikian rupa sehingga pengelolaan air dapat dilaksanakan dengan baik, eksploitasi dan pemeliharaan jaringan dapat dengan mudah dilakukan oleh para petani pemakai air dengan biaya rendah.

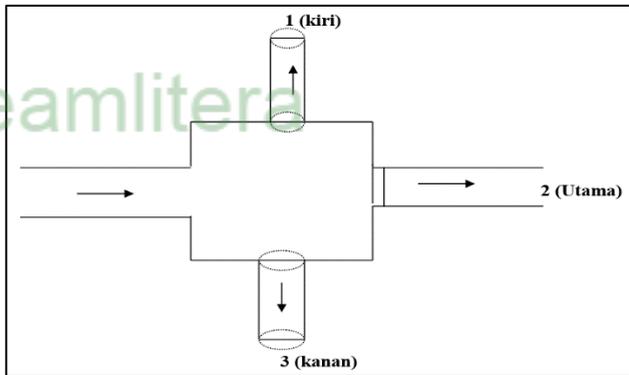
Umumnya, bangunan pengambilan dilengkapi dengan bangunan ukur atau pintu-pintu ukur. Pembagian debit pada bangunan bagi tersier, sub tersier, sekunder dan kuartier dengan memakai pintu pada umumnya kurang efisien. Kondisi tersebut disebabkan oleh karena adanya keterbatasan tenaga operasi dan prosedur pengaturan pintu-pintu ukur yang tidak sederhana (Anonymous, 1975). Bangunan bagi dibangun diantara saluran-saluran sekunder, tersier dan kuartier guna membagi air irigasi ke seluruh petak tersebut. Perencanaan bangunan bagi harus sesuai

dengan kebutuhan petani setempat dan memenuhi kebutuhan kegiatan eksploitasi di daerah yang bersangkutan pada saat ini maupun kemungkinan pengembangan di masa mendatang. Bangunan bagi berfungsi untuk membagi air secara terus-menerus (*proporsional*) atau secara rotasi. Pengelolaan irigasi yang ideal adalah pemanfaatana air sesuai dengan kebutuhan yang diminta secara tepat dalam hal waktu, kuantitas dan kualitas.

Distribusi air pertanian juga dipengaruhi oleh pembagian luas petak tersier, kuarter dan pola tanam. Untuk menyederhanakan pengelolaan air, dianjurkan pada perencanaan suatu jaringan irigasi baru, agar memperhitungkan pelaksanaan operasi pembagian air. Salah satu cara adalah dengan merencanakan pambagian luas petak tersier dan kuarter yang seragam serta pola tanam yang sama (Anonymous, 1986a : 176). Peningkatan efisiensi dapat dimulai dengan menyederhanakan mekanisme pembagian debit, misalnya mengganti pintu-pintu ukur pada bangunan bagi tersier, sub tersier, sekunder dan kuarter dengan bangunan bagi ambang lebar dan pipa pada saluran kanan dan saluran kiri sehingga mampu membagi debit yang tidak sama besar sesuai dengan kebutuhan (Gambar 1).



a. Box bagi dengan pintu ukur



b. Box bagi dengan ambang lebar dan pipa.

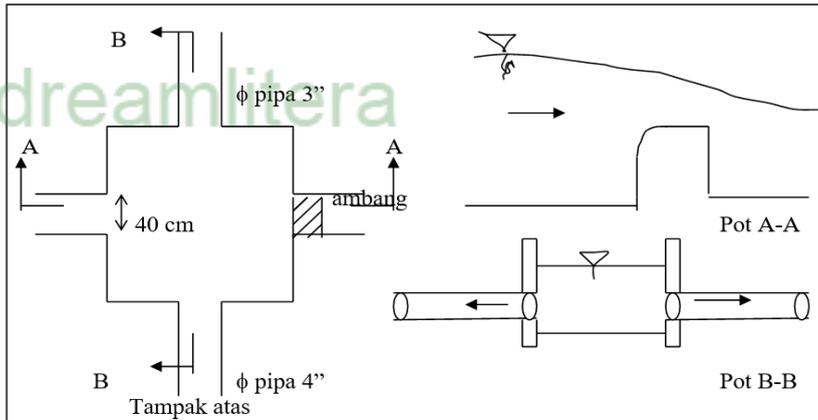
Gambar 1. Pola pembagian debit pada bangunan bagi tersier.

Aliran dalam saluran terbuka yang melewati pipa mempunyai beberapa kondisi, yaitu pengaliran bebas (*free flow*), pengaliran transisi (*Transition flow*), dan pengaliran tekan (*Pressure flow*). Pengaliran bebas terjadi jika seluruh panjang pipa belum terisi penuh dengan air atau ujung hulu pipa tidak tenggelam. Pengaliran transisi terjadi apabila permukaan air di Hulu sudah menyentuh ujung atas inlet, dimana kondisi ini akan bertahan sampai terjadi debit air maksimum dalam pipa dengan keadaan aliran seragam dan tidak bekerja dibawah tekanan. Aliran tekan terjadi apabila pada seluruh panjang pipa, penampang alirannya terisi penuh oleh air sehingga terjadi aliran tekan (Kim, 1981). Pengujian kebenaran dari pola pembagian debit yang tidak sama besar pada bangunan bagi yang memanfaatkan bangunan ukur ambang lebar dan pipa harus dikaji terlebih dahulu dalam uji model fisik.

Bangunan Box Bagi

1. Model Bangunan

Pola pembagian debit yang terjadi pada pipa adalah pengaliran debit yang berlangsung secara lateral, dimana pengaliran ini dalam kondisi tegak lurus arah aliran utama dengan penambahan volume konstan sepanjang lebar saluran utama. Apabila bagian dasar pipa tanpa kemiringan dan luas penampang lubang pengambilan adalah sama, pada kondisi permanen akan memberikan jaminan besarnya debit yang ditarik ke kanan dan ke kiri adalah sama. Menurut Chow (French, 1986: 255) proses itu berlangsung dalam kondisi enersi spesifik yang dianggap konstan, sehingga dapat dikaji sesuai kaidah dan prinsip hidrolika yang berlaku. Model bangunan dapat dilihat pada gambar 2. Dengan adanya debit diatas ambang pada saluran utama, maka debit bertambah sepanjang yang masuk dalam pipa dengan satuan penambahan konstan untuk tiap pias. Kondisi aliran demikian dapat dikatakan aliran berubah beraturan dengan penambahan debit (Chow, 1985:524).



Gambar 2.

Model bangunan bagi ambang lebar dengan penambahan pipa

2. Kalibrasi Alat Ukur Debit

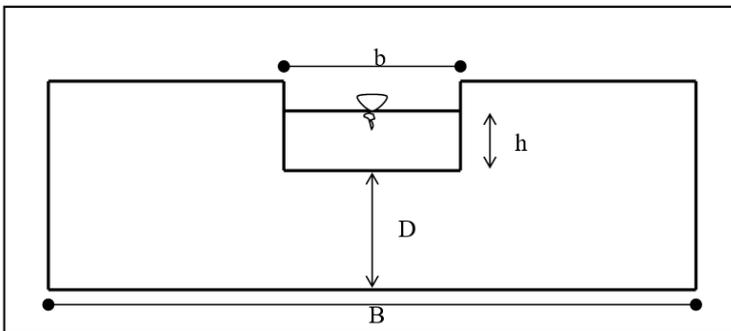
Kalibrasi mempunyai makna pengujian atau pencocokan. Secara umum dapat didefinisikan sebagai pengujian suatu alat yang dianggap belum akurat (tepat) dengan cara membandingkan hasil pengukuran berdasarkan alat yang akan diuji dengan hasil pengukuran alat yang dianggap tepat atau sesuai standar. Alat ukur debit yang dijelaskan dalam buku 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.

Analisis kalibrasi dilakukan 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.

3. 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 3. 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) :

$$Q = k.b.h^{3/2}$$

Dimana :

Q = debit yang melalui Rechbox (m³/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 m – 6.30 m

D = 0.15 m – 5.5 m

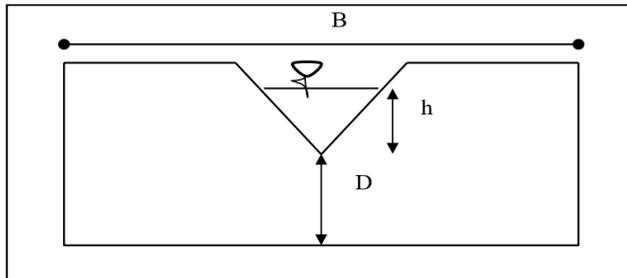
b = 0.15 m – 5.00 m

h = 0.03 sampai 0.45 \sqrt{b}

Sedangkan kesalahan debit yang diperbolehkan sebesar 5 %.

4. Alat Ukur Debit Thompson

Dimensi dan persyaratan yang telah ditentukan adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Alat ukur debit *Thompson* (Sosrodarsono, 1983 : 201)

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

$$Q = k.h^{5/2}$$

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

5. Aliran Melalui Pelimpah Ambang Lebar

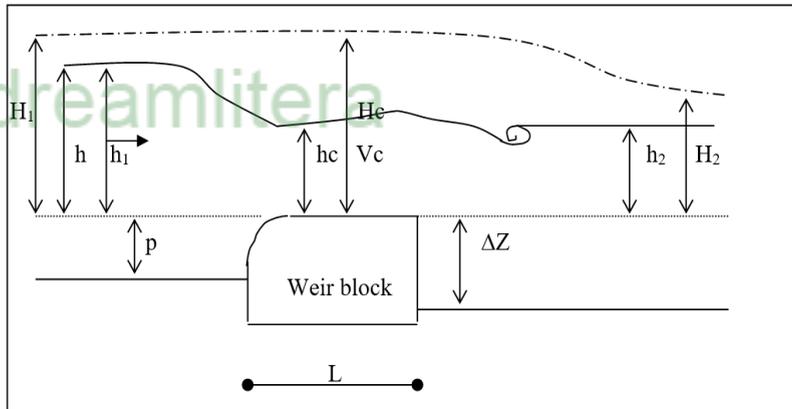
Pelimpah adalah suatu proses mengalirnya zat cair melalui bangunan pelimpah atau konstruksi yang lain dimana bagian atas dari aliran tersebut merupakan permukaan bebas, tetapi jika bagian atas aliran menyinggung suatu konstruksi maka disebut sebagai lubang (*Orifice*). Ambang lebar adalah mercu datar dalam suatu saluran yang dipasang tegak lurus arah aliran utama dengan mercu bidang horizontal dan sisi samping bidang vertikal. Secara ideal tekanan yang bekerja pada mercu adalah hidrostatik, maka dari itu harus dipenuhi ketentuan (Bos.M.G, 1976 : 15):

$$0.08 < H_1/L < 0.50.$$

Dimana :

H_1 = tinggi tekan di Hulu ambang (m)

L = panjang ambang (m)

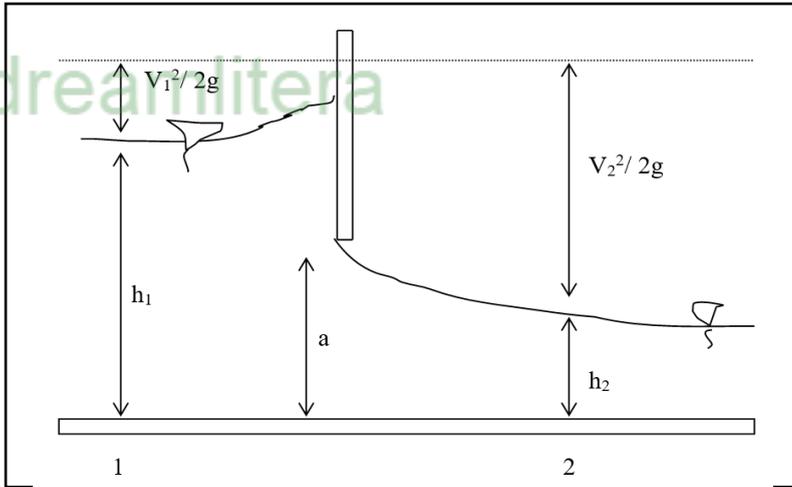


Gambar 5. Aliran diatas pelimpah ambang lebar (Bos, 1976 : 16).

Jika ukuran ambang memenuhi persamaan diatas, maka akan terjadi suatu aliran kritis diatas ambang pada sebarang titik. Jika H_1/L lebih kecil dari 0.08 maka kehilangan energi diatas mercu tak dapat diabaikan, sedangkan pada H_1/L lebih besar dari 0.50 maka garis aliran diatas mercu membentuk curvature yang menyebabkan tekanan tidak lagi melulu hidrostatis. Untuk membantu menciptakan aliran kritis umumnya dipilih ambang lebar dalam saluran persegi empat.

6. Aliran Dibawah Bukaian Pintu

Untuk keperluan pemberian air secara giliran (rotasi), maka box bagi harus dilengkapi dengan pintu pengatur yang dapat menutup seluruh atau sebagian ambang secara bergantian. Tinggi bukaan pintu disesuaikan dengan debit yang akan dialirkan dan sesuai dengan kebutuhan tanaman.



Gambar 6.

Aliran dibawah pintu pengatur (Subramanya, 1982 : 251).

Dari gambar diatas menunjukkan keadaan aliran bebas dibawah pintu pengatur pada saluran mendatar berpenampang segi empat dengan tinggi bukaan pintu sebesar (a) dan lebar bukaan pintu (b). Debit yang mengalir di bawah pintu dapat dihitung dengan persamaan (Anonymous 1986b : 34) :

$$Q = C_d \cdot a \cdot b \cdot (2 \cdot g \cdot h_1)^{0.5}$$

Dimana :

Q = debit, (m³/det)

Cd = koefisien debit untuk bukaan di bawah permukaan air dengan kehilangan tinggi energi kecil, Cd = 0.8

a = tinggi bukaan pintu (m)

b = lebar pintu (m)

g = gaya gravitasi (9.81 m/det²).

h₁ = kedalaman air didepan pintu di atas ambang, (m)

Debit persatuan lebar yang mengalir di bawah pintu dapat dianggap seperti pengaliran melalui sebuah orifice yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan menurut Subramanya (1982 : 252).

$$q = C_d \cdot a \cdot (2 \cdot g \cdot h_1)^{0.5}$$

$$C_d = \frac{C_c}{1 + \frac{C_c \cdot a}{h_1}}$$

Dimana :

q = Debit persatuan lebar pintu ($m^3/det/m$)

C_d = koefisien debit

C_c = Koefisien kontraksi

a = Tinggi bukaan pintu (m)

h_1 = Tinggi muka air di hulu pintu (m)

g = gaya gravitasi (9.81 m/det^2)

Koefisien kontraksi pintu (C_c) merupakan hubungan antara a/H_1 dengan C_c .

Tabel 1. Hubungan antara a/H_1 dengan koefisien kontraksi (C_c).

a/H_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
C_c	0.611	0.606	0.602	0.600	0.598	0.598

Sumber: Henderson (1966 : 204).

7. Jenis Aliran

a. Aliran Kritis

Parameter dalam saluran terbuka adalah kedalaman hidraulik (D), dimana parameter lain yang penting adalah bilangan "Froude (F)" yang dikenal sebagai bilangan tak berdimensi, sehingga:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \times D}}$$
$$D = A/T$$

Dimana :

F = bilangan Froude

V = kecepatan (m/det)

g = gaya gravitasi (9.81 m/det²).

D = kedalaman hidraulik (m)

A = luas penampang (m²)

T = lebar atas aliran (m).

Bilangan Froude akan menunjukkan harga 1 apabila aliran tersebut dalam kondisi kritis, jika bilangan Froude < 1 maka kondisi aliran tersebut disebut sub kritis, dan jika bilangan Froude > 1 maka aliran tersebut disebut superkritis.

b Aliran Dalam Pipa

1) Menentukan kemiringan garis hidroulik dan kemiringan garis energi

Elevasi garis hidrolik (*hydraulic gradient*) ditentukan dengan mengurangi tinggi air pada pipa pada saat air mengalir dan pada

saat air tidak mengalir. Sedangkan elevasi garis energi (*energy gradient*) ditentukan dengan menambah elevasi garis hidrolis dengan $v^2/2g$ (Priyantoro Dwi, 1991 : 7).

$$V = Q/A$$

$$H_g = H_n - H_o$$

$$E_G = H_g + v^2/2g$$

Dimana :

V = kecepatan (m/det)

Q = Debit air (m³/det)

A = Luas penampang pipa (m²) ($A = 1/4 \pi d^2$)

H_g = Garis hidrolis (m)

H_n = Tinggi air yang mengalir (m)

H_o = Tinggi air diam (m)

E_G = Garis Enersi (m)

g = Gaya gravitasi (m/det²).

2) Menghitung Kehilangan Tinggi (*Head Loss*)

Kehilangan tinggi dihitung berdasarkan data pengamatan setiap manometer pada tabung dengan cara mengurangi elevasi garis enersi 1 dengan elevasi garis enersi 2, maka akan diperoleh nilai kehilangan tinggi.

$$H_f = E_{gn} - E_{gn+1}$$

Dimana:

H_f = kehilangan tinggi (m).

3) Menentukan Jenis Aliran

Dengan berbagai jenis aliran ditentukan oleh bilangan *Reynold*, dimana batas bilangan untuk berbagai kondisi adalah sebagai berikut:

Untuk saluran tertutup pada pipa

$$Re = (V.D) / (\sigma)$$

Dimana :

Re = Bilangan Reynold

D = Diameter pipa (m)

V = Kecepatan aliran (m/det)

σ = Kekentalan kinematik.

- Re < 2000 → aliran Laminar
- Re < 4100 → aliran Transisi
- Re > 4100 → aliran Turbulen

Tabel 2. Kekentalan pada air

Temperatur (C)	0	5	10	20	25	30	35	40
σ (10^{-6} m ² /det)	1.794	1.519	1.31	1.01	0.897	0.657	0.657	0.3

Pada percobaan : t = 21.5° C

4) Menghitung Koefisien Gesekan dan Kontrol Debit

Setelah debit (Q) dihitung dengan cara *Thompson* kemudian besarnya debit (Q) dihitung berdasarkan rumus *Chezy* dengan jalan menghitung besarnya faktor gesekan berdasarkan rumus Darcy – Weisbach (Kim, 1981).

$$Q = A \cdot V = A \cdot C \cdot (R.S)^{0.5}$$
$$f = \frac{H_f \cdot D \cdot 2 \cdot g}{L \cdot V^2}$$

Dimana :

Q = Debit dari rumus Chezy (m³/det)

A = Luas penampang basah (m²)

R = Jari – jari hidrolis

C = Koefisien Chezy (C = 8g/f)^{0.5}

S = Kemiringan garis energi (S = hf/L)

L = Panjang pipa (m)

g = Percepatan gravitasi (m/de²)

f = Koefisien gesek Darcy yang dihitung

hf = Kehilangan tinggi (m)

D = Diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran (m/det).

5) Menghitung Debit dan Koefisien Debit Pada Pipa

$$Q = C_d \cdot A (2gh_1)^{0.5}$$

$$C_d = C_c \cdot C_v$$

$$C_c = A_c / A$$

$$C_v = V / (2gh_1)^{0.5}$$

Dimana :

Q = Debit (m³/det)

C_d = Koefisien debit

A = Luas penampang basah (m²)

g = Percepatan gravitasi (m/de²)

h = Tinggi muka air (m)

C_c = Koefisien kontraksi

A_c = Luas penampang aliran pada vena kontrakta (m²)

C_v = Koefisien kecepatan

V = Kecepatan aliran (m/det)

8. Proporsionalitas Debit

Ambang lebar adalah merupakan bangunan pengukur debit yang proporsional, dimana kenaikan besarnya debit hulu box bagi sebanding dengan kenaikan tinggi muka air di hulu ambang/ hilir box bagi (Sudjarwadi, 1990 : 269). Pola pembagian debit dipengaruhi oleh luas pipa (diameter pipa), dan ketinggian muka air di atas ambang. Berdasarkan konsep tersebut, maka bangunan bagi ambang lebar dengan penambahan pipa pada kanan (pipa 3)

dan kiri (pipa 1) dengan variasi bukaan pintu di atas ambang pada saluran 2 terjadi secara proporsional terhadap diameter pipa.

1. Pendahuluan

Pengujian model fisik bangunan bagi yang memanfaatkan bangunan ukur ambang lebar dan pipa, diharapkan dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi aliran dan pembagian debit. Adapun pelaksanaan pengujian model fisik meliputi pengujian pada bangunan bagi arah frontal (pengoperasian satu saluran), pengujian pada bangunan bagi dengan saluran cabang (pengoperasian tiga saluran), dan perencanaan debit pada saluran dengan variasi bukaan pintu. Bagian ini membatasi pembahasan pada pola pembagian debit pada bangunan bagi yang memanfaatkan ambang lebar dan pipa. Untuk memudahkan jalannya penelitian dan proses pengkajian, maka asumsi-asumsi yang terkait ditetapkan kemudian sesuai kebutuhan. Beberapa poin permasalahan yang dibahas pada bagian ini adalah:

1. Berapakah koefisien debit (C_d) yang terjadi sehubungan dengan variasi debit tersebut?
2. Berapakah koefisien gesekan (f) yang terjadi pada pipa karena adanya aliran air dengan beberapa variasi debit?
3. Berapakah debit yang terjadi pada pipa 1, 3 dan saluran 2 dengan tiga macam bukaan pintu?

4. Bagaimanakah pola pembagian debit yang terjadi pada pipa 1, 3 dan saluran 2 dengan adanya variasi debit dan variasi bukaan pintu?.

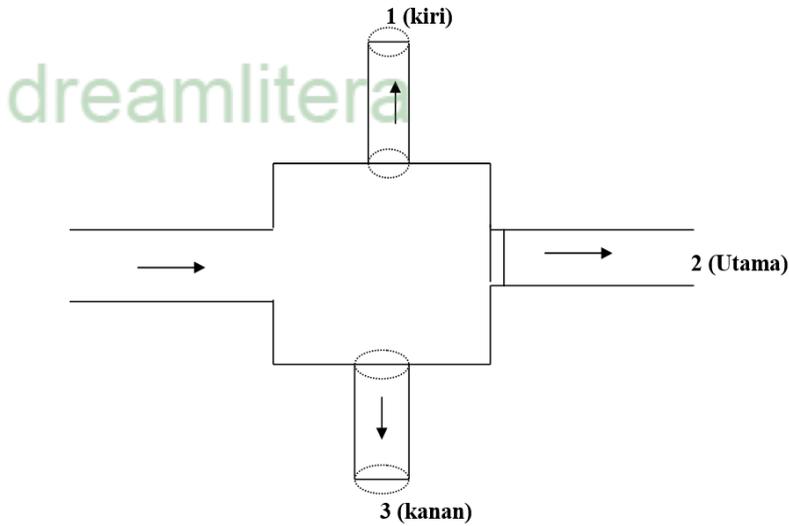
2. Metode

a. 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, 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.

b. Lokasi Percobaan

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Hidrolika Teknik Pengairan Brawijaya Malang. Adapun fisik bangunan tersebut adalah prototipe (1:1) dengan rancang bangun seperti gambar 7.



Gambar 7. Model fisik bangunan bagi dengan menggunakan ambang lebar dan pipa

c. 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.

d. Macam Percobaan

- 1) Bangunan bagi dengan pengoperasian satu saluran
 - a. Aliran bebas tanpa pintu (dengan pintu dibuka penuh)
 - b. Aliran bebas dengan bukaan pintu (a) 4 cm
 - c. Aliran bebas dengan bukaan pintu (a) 8 cm.
- 2) Bangunan bagi dengan pengoperasian tiga saluran
 - a. Aliran bebas tanpa pintu (dengan pintu dibuka penuh)
 - b. Aliran bebas dengan bukaan pintu (a) 4 cm
 - c. Aliran bebas dengan bukaan pintu (a) 8 cm.
- 3) Bangunan bagi dengan debit rencana.
 - a. Direncanakan debit maksimum pada pipa kanan 40 lt/det
 - b. Dengan menggunakan variasi bukaan pintu dan variasi debit.

3. Prosedur Percobaan

a. 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:

- a. Model fisik *Rechbox* (gambar 2.2 dengan ukuran $b = 0.955 \text{ m}$; $B = 2.63 \text{ m}$; $D = 2.275 \text{ m}$)

- b. Model fisik *Thompson* 1 (kiri) dengan ukuran $D = 0.165 \text{ m}$; $B = 0.80 \text{ m}$
- c. Model fisik *Thompson* 2 (utama/tengah/ frontal) dengan ukuran $D = 0.41 \text{ m}$; $B = 1.01 \text{ m}$)
- d. Model fisik *Thompson* 3 (kanan) dengan ukuran $D = 0.155 \text{ m}$; $B = 0.97 \text{ m}$
- e. Pompa air
- f. Tandon air
- g. Stop watch
- h. Ember (kaleng) untuk takaran pada *Thompson* hilir
- i. Gelas ukur
- j. Air untuk percobaan dengan beberapa variasi tinggi muka air (h) pada *Rechbox* (hulu)
- k. Alat duga air (point gauge)
- l. Pitot tube
- m. Water pass.

2) Pelaksanaan Kalibrasi

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

- a. 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 2.

- b. 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:

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

b. Pengoperasian Satu Saluran

1. Persiapan

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

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

2. Pelaksanaan

- a. Aliran bebas tanpa pintu

Pada aliran bebas tanpa pintu kami menggunakan variasi debit 5 lt/det s/d 25 lt/det. Adapun rancang bangunnya seperti dibawah ini:

Tabel 3. Pengoperasian satu saluran dengan aliran bebas

No	Debit uji Q lt/det	Tinggi muka air			Kecepatan		
		Hulu amb cm	Atas amb cm	Hilir amb cm	Hulu amb cm	Atas amb cm	Hilir amb cm
1	5	3.86	3.28	3.94	0.93	1.32	0.77
2	10	7.60	5.05	4.78	1.00	2.25	2.95
3	15	9.78	6.01	4.79	1.35	3.52	5.23
4	20	12.63	7.31	5.91	1.43	4.13	10.90
5	25	12.77	8.47	5.94	2.42	4.92	16.13

Sumber: Hasil Pengukuran

b. Aliran Bebas dengan Bukaannya Pintu 4 cm

Pada aliran bebas dengan menggunakan pintu kami menggunakan variasi debit 5 lt/det s/d 15 lt/det. Adapun rancang bangunnya seperti dibawah ini:

Tabel 4.

Pengoperasian satu saluran dengan aliran bebas (a = 4 cm)

No	Debit uji	Tinggi muka air			Kecepatan		
	Q	Hulu amb	Atas amb	Hilir amb	Hulu amb	Atas amb	Hilir amb
	lt/det	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	5	5.64	2.82	6.97	0.93	1.32	0.33
2	10	10.11	2.87	13.37	1.00	7.10	0.47
3	15	18.38	3.28	15.86	1.35	15.28	0.50

Sumber: Hasil Pengukuran

c. Aliran Bebas dengan Bukaannya Pintu 8 cm

Pada aliran bebas dengan menggunakan pintu kami menggunakan variasi debit 15 lt/det s/d 25 lt/det. Adapun rancangan bangun debit seperti dibawah ini:

Tabel 5.

Pengoperasian Satu Saluran dengan Aliran Bebas (a = 8 cm)

No	Debit uji	Tinggi muka air			Kecepatan		
	Q	Hulu amb	Atas amb	Hilir amb	Hulu amb	Atas amb	Hilir amb
	lt/det	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	15	8.23	5.48	16.46	0.90	3.08	0.32
2	20	12.46	5.53	19.06	1.28	6.88	0.95
3	25	17.09	6.14	19.17	1.73	11.48	0.77

Sumber: Hasil Pengukuran

3. Analisis

Dengan mengalirkan beberapa variasi debit (Q), maka akan didapat data tinggi muka air (h) dan kecepatan (v). Sehingga akan didapat sebuah perhitungan:

- h rata-rata pada setiap section
- v rata-rata pada setiap section
- Koefisien debit (C_d)
- Nilai Froude (F) sebagai kontrolnya
- Debit aliran (Q) pada saluran sebagai hasil akhir

c. Pengoperasian tiga saluran.

1. Persiapan

Persiapan yang diperlukan pada penelitian bangunan box bagi ambang lebar dengan saluran cabang adalah:

- a. Siapkan model fisik saluran pada box bagi ambang lebar beserta pintu yang akan diletakkan diatas ambang lebar pada arah frontal.
- b. Pasang pipa dengan diameter 4" pada saluran kanan dan 3" pada saluran kiri.
- c. Pastikan pompa air dalam keadaan baik.
- d. Pada saluran kanan dan kiri dibuka penuh.
- e. Siapkan beberapa variasi debit yang akan dialirkan pada box bagi tersebut.

2. Pelaksanaan

a. Aliran bebas tanpa pintu

Pada aliran bebas tanpa pintu digunakan variasi debit 15 lt/det s/d 40 lt/det. adapun rancang bangunnya adalah sebagai berikut:

Rancang Bangun pada Bangunan Bagi dengan Pengoperasian 3 Saluran

1. Aliran Bebas Tanpa Pintu

Tabel 6. Pengoperasian 3 Saluran dengan Aliran Bebas

No	Debit Q lt/det	Arah frontal						Pipa kiri (1)			Pipa kanan (3)		
		Tinggi muka air			Kecepatan			Tinggi muka air			Tinggi muka air		
		Hulu amb	Atas amb	Hilir amb	Hulu amb	Atas amb	Hilir amb	Hulu pipa	As pipa	Hilir pipa	Hulu pipa	As pipa	Hilir pipa
		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	15	6.75	5.30	9.82	1.42	2.35	0.83	6.00	5.00	3.50	5.50	4.60	4.30
2	20	7.28	6.49	8.78	2.13	2.87	1.50	6.70	5.70	4.30	6.20	5.10	4.70
3	25	8.99	7.54	9.50	2.23	3.16	2.00	6.10	6.40	4.70	7.30	6.00	5.70
4	30	9.40	8.26	9.41	2.73	3.62	3.15	8.40	6.80	6.40	8.20	6.80	6.30
5	35	11.74	9.20	9.50	2.57	3.87	4.20	8.10	7.10	8.20	8.50	7.50	6.50
6	40	13.07	9.94	7.80	2.53	4.33	8.00	7.80	7.30	8.50	7.10	7.15	7.30

Sumber: Hasil Pengukuran

2. Aliran Bebas Dengan Pintu (a = 4 cm)

Tabel 7. Pengoperasian 3 Saluran dengan a = 4 cm

No	Debit Q lt/det	Arah frontal						Pipa kiri (1)			Pipa kanan (3)		
		Tinggi muka air			Kecepatan			Tinggi muka air			Tinggi muka air		
		Hulu amb	Atas amb	Hilir amb	Hulu amb	Atas amb	Hilir amb	Hulu pipa	As pipa	Hilir pipa	Hulu pipa	As pipa	Hilir pipa
		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	15	8.95	4.30	15.47	1.37	4.32	7.48	5.30	4.40	1.50	3.80	4.80	3.50
2	20	12.83	4.28	22.77	1.80	6.87	8.01	6.70	5.30	2.00	4.80	6.10	4.50
3	25	16.88	4.35	23.26	1.73	8.77	7.68	8.30	7.40	3.15	6.50	7.70	5.80
4	30	20.13	4.08	9.32	2.47	11.93	7.31	7.80	6.90	4.20	6.60	6.80	6.80
5	35	22.92	4.37	9.98	2.77	11.93	7.84	8.00	6.90	4.20	6.70	7.80	7.60
6	40	23.52	5.23	8.45	2.90	20.67	5.65	8.40	7.20	7.33	8.50	7.80	10.90

Sumber: Hasil Pengukuran

3. Aliran Bebas Dengan Pintu ($a = 8 \text{ cm}$)

Tabel 8. Pengoperasian 3 Saluran dengan $a = 8 \text{ cm}$

No	Debit Q l/det	Arah frontal						Pipa kiri (1)			Pipa kanan (3)		
		Tinggi muka air			Kecepatan			Tinggi muka air			Tinggi muka air		
		Hulu amb	Atas amb	Hilir amb	Hulu amb	Atas amb	Hilir amb	Hulu pipa	As pipa	Hilir pipa	Hulu pipa	As pipa	Hilir pipa
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	
1	15	6.75	5.10	7.34	1.42	2.47	9.77	6.00	5.00	0.73	5.50	4.70	4.30
2	20	7.27	6.00	13.48	2.13	3.30	9.63	6.70	5.70	1.37	6.20	5.20	4.70
3	25	9.00	7.15	10.75	2.13	3.50	13.86	6.10	7.40	1.20	7.60	6.30	5.80
4	30	9.28	7.48	12.10	2.73	4.23	12.24	8.30	7.50	1.77	8.10	7.10	6.50
5	35	9.41	6.75	10.83	3.45	6.43	16.26	8.30	7.20	1.57	7.20	7.50	6.80
6	40	14.36	8.28	13.29	3.80	5.58	17.07	8.10	6.70	1.50	7.50	7.10	7.80

Sumber: Hasil Pengukuran

4. Hasil Percobaan

a. 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:

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

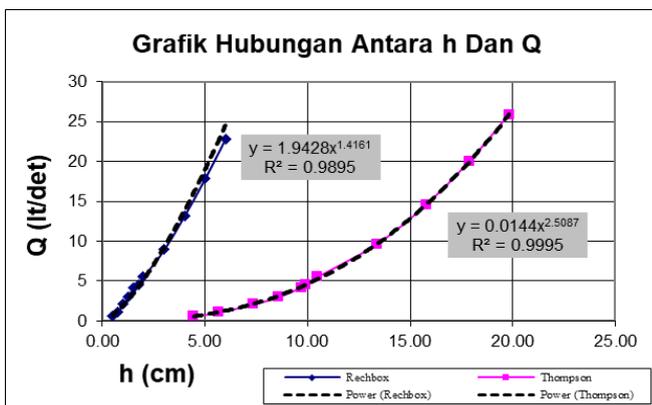
* Thompson 2 = $0.0117 (h)^{2.6035}$

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

Tabel 9. Hubungan Tinggi Muka Air (H) dan Debit Takar (Q_{takar})

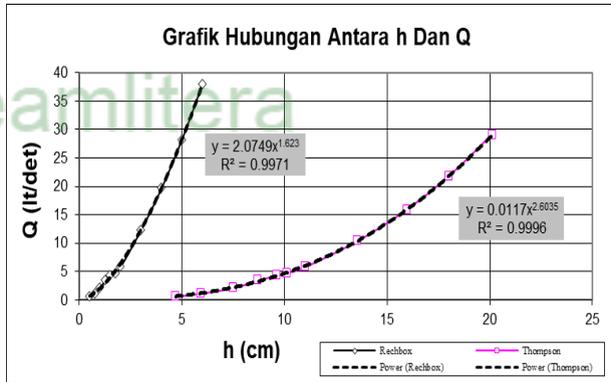
No	H U L U					H I L I R								
	h_{Rechbox}		$Q1_{\text{takar}}$	$Q2_{\text{takar}}$	$Q3_{\text{takar}}$	h_{Thomp}		$Q1_{\text{takar}}$	h_{Thomp}		$Q2_{\text{takar}}$	h_{Thomp}		$Q3_{\text{takar}}$
	(cm)	(m)	(lt/det)	(lt/det)	(lt/det)	(cm)	(m)	(lt/det)	(cm)	(m)	(lt/det)	(cm)	(m)	(lt/det)
1	0.50	0.005	0.6216	0.654	0.612	4.440	0.044	0.6216	4.700	0.047	0.654	0.690	0.007	0.0059
2	0.75	0.008	1.105	1.220	1.055	5.670	0.057	1.1050	5.930	0.059	1.220	3.170	0.032	0.2591
3	1.00	0.010	2.119	2.138	1.982	7.330	0.073	2.1188	7.480	0.075	2.138	4.510	0.045	0.6612
4	1.25	0.013	3.021	3.456	3.137	8.570	0.086	3.0208	8.700	0.087	3.456	5.290	0.053	0.9204
5	1.50	0.015	4.235	4.352	3.981	9.680	0.097	4.2348	9.600	0.096	4.352	5.800	0.058	1.0545
6	1.75	0.018	4.515	4.774	4.346	9.930	0.099	4.5154	10.110	0.101	4.774	7.210	0.072	1.9808
7	2.00	0.020	5.536	5.829	5.429	10.470	0.105	5.5356	11.000	0.110	5.829	7.260	0.073	1.9823
8	3.00	0.030	8.934	12.342	10.993	13.380	0.134	9.6592	13.550	0.136	10.396	8.630	0.086	3.1370
9	4.00	0.040	13.172	19.686	17.351	15.780	0.158	14.6064	15.960	0.160	15.915	9.640	0.096	3.9812
10	5.00	0.050	17.802	28.278	24.720	17.900	0.179	20.0341	18.020	0.180	21.826	9.840	0.098	4.3458
11	6.00	0.060	22.769	38.017	33.011	19.820	0.198	25.8635	20.130	0.201	29.113	10.760	0.108	5.4286

Sumber: Hasil Perhitungan



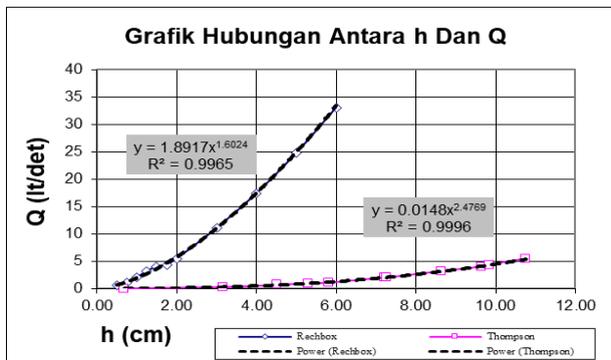
Gambar 8.

Kalibrasi Alat Ukur Debit Rechbox-Thompson Pada Saluran 1



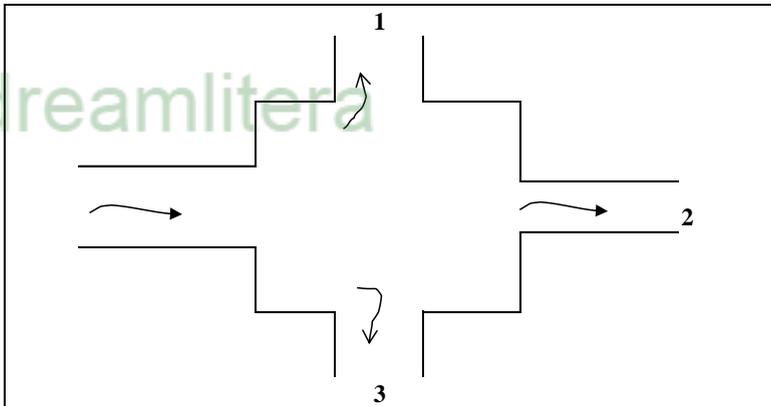
Gambar 9.

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



Gambar 10.

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



Gambar 11. Denah Bangunan Bagi

b. Pengoperasian Satu Saluran

1). Aliran Bebas Tanpa Pintu

Pada pengoperasian satu saluran (arah frontal) tanpa pintu digunakan debit rencana 5 lt/det, 10 lt/det, 15 lt/det, 20 lt/det dan 25 lt/det . Dari hasil penelitian dengan variasi debit tersebut, maka didapat nilai Q_{hulu} dan Q_{hilir} sama. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2 dan lampiran 2 tabel 1. Perbedaan debit yang terjadi pada saat dialiri debit rencana maksimum mempunyai kesalahan relatif kurang dari 10 %. Dengan semakin mengecilnya debit yang dialirkan, maka kesalahan relatif yang terjadi akan semakin besar (lihat tabel 11). Hal ini membuktikan bahwa bangunan tersebut dapat mengalirkan debit rencana maksimum, sedangkan untuk debit pengaliran lebih kecil dari debit rencana diperlukan alat pengontrol di hilir bangunan.

Tabel 10. Tinggi muka air (h) dan debit (Q) pada saluran tunggal

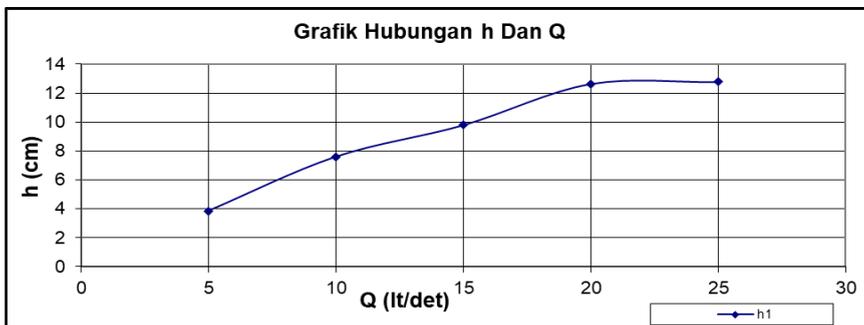
No	Debit Uji	h_1	h_2	Q_2
	Q (lt/det)	(cm)	(cm)	(lt/det)
1	5	3.86	3.94	5
2	10	7.60	4.78	10
3	15	9.78	4.79	15
4	20	12.63	5.91	20
5	25	12.77	5.94	25

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 11. Kesalahan relatif pada saluran tunggal tanpa pintu

No	Q_{hulu} (lt/det)	A (cm^2)	h rerata	V_{akt} (cm/det)	Q_{akt}	$V_{teoritis}$ (hitung)	$Q_{teoritis}$ (hitung)	Kesalahan Relatif (%)
1	5.0	115.9	0.96	43.47	5.0	47.01	5.45	8.13
2	10.0	227.9	0.99	44.07	10.0	47.49	10.82	7.75
3	15.0	293.4	1.34	51.27	15.0	54.15	15.89	5.62
4	20.0	378.9	1.43	52.91	20.0	55.18	20.91	4.29
5	25.0	385.1	2.15	64.95	25.0	67.40	25.95	3.77
Kesalahan relatif rata-rata								5.91

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 12.

Grafik hubungan h dan Q pada saluran tunggal tanpa pintu

2) Aliran Bebas dengan Bukaannya Pintu ($a = 4 \text{ cm}$)

Pada pengoperasian satu saluran (arah frontal) dengan pintu digunakan debit rencana 5 lt/det, 10 lt/det, dan 15 lt/det. Dari hasil penelitian dengan variasi debit tersebut, maka didapat nilai Q_{hulu} dan Q_{hilir} sama. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4 dan lampiran 2 tabel 2, sedangkan koefisien debit yang didapatkan adalah 0.545 dan 0.57. Adapun pada debit 5 lt/det tidak ada koefisien debit (C_d) karena tinggi muka air masih dibawah tinggi bukaan pintu ($h < a$). Perbedaan debit yang terjadi pada saat dialiri debit rencana maksimum mempunyai kesalahan relatif kurang dari 10 %. Dengan semakin mengecilnya debit yang dialirkan, maka kesalahan relatif yang terjadi akan semakin besar (lihat tabel 4.5).

Dengan menggunakan grafik koefisien debit tersebut serta memasukkan berbagai nilai untuk tinggi muka air di depan pintu (h_1) sehingga dapat diketahui nilai banding a/h_1 , maka akan kita dapatkan pula suatu grafik hubungan antara tinggi muka air di depan pintu (h_1) dan debit yang mengalir di bawah pintu (Q) pada satu kondisi bukaan pintu ($a = 4 \text{ cm}$) lihat gambar 4.7 dan 4.8.

Tabel 12.

Hubungan tinggi muka air (h) dan debit (Q) dengan $a = 4 \text{ cm}$

No	Debit Sal.	h_1	h_2	a/h_1	C_c	C_d	Q_2
	Q (lt/det)	(cm)	(cm)				(lt/det)
1	5	3.86	6.97	1.04	-	-	5.0
2	10	11.80	13.37	0.34	0.60	0.545	10.0
3	15	24.46	15.86	0.16	0.60	0.571	15.0

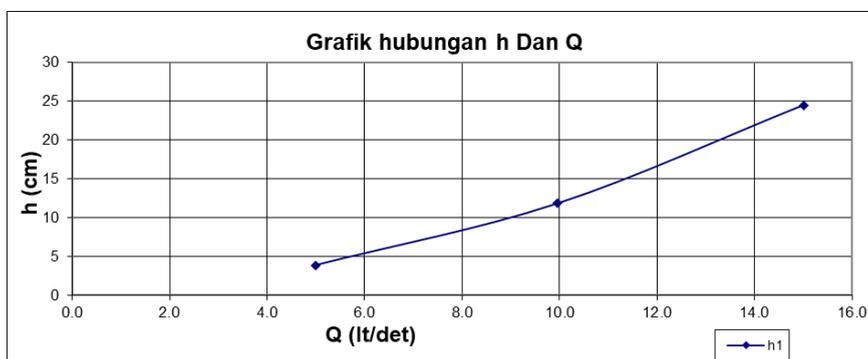
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 13.

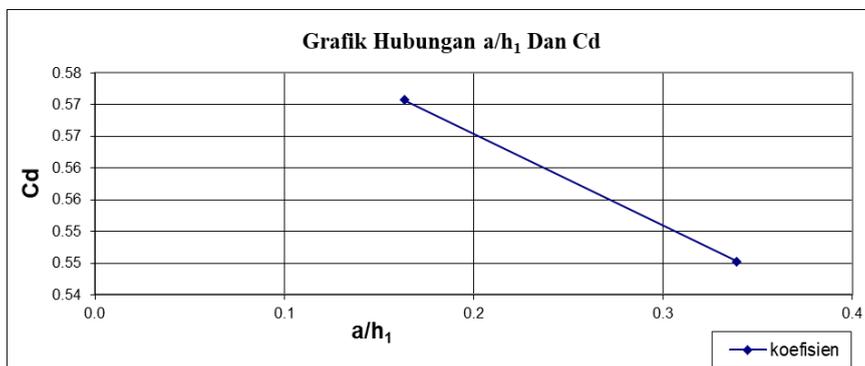
Kesalahan relatif pada saluran tunggal dengan pintu ($a=4$ cm)

No	Q hulu	A	h	V akt	Q akt	V teoritis	Q teoritis	Kesalahan
	(lt/det)	(cm^2)	rerata	(cm/det)		(hitung)	(hitung)	Relatif (%)
1	5.0	115.8	0.95	43.13	5.0	46.93	5.43	8.81
2	10.0	354.0	0.41	28.25	10.0	30.54	10.81	8.13
3	15.0	733.8	0.21	20.46	15.0	21.01	15.42	2.68
Kesalahan relatif rata-rata								6.54

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 13. Grafik hubungan antara h dengan Q pada saluran 2



Gambar 14.

Grafik hubungan antara a/h_1 dengan C_d pada saluran 2

3) Aliran Bebas dengan Bukaannya Pintu ($a = 8 \text{ cm}$)

Pada pengoperasian satu saluran (arah frontal) dengan pintu digunakan debit rencana 15 lt/det, 20 lt/det, dan 25 lt/det. Dari hasil penelitian dengan variasi debit tersebut, maka didapat nilai Q_{hulu} dan Q_{hilir} sama. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6 dan lampiran 2 tabel 3, sedangkan koefisien debit yang didapatkan adalah 0.552, 0.571 dan 0.585. Perbedaan debit yang terjadi pada saat dialiri debit rencana maksimum mempunyai kesalahan relatif kurang dari 10% . Dengan semakin mengecilnya debit yang dialirkan, maka kesalahan relatif yang terjadi akan semakin besar (lihat tabel 4.7).

Dengan menggunakan grafik koefisien debit tersebut serta memasukkan berbagai nilai untuk tinggi muka air di depan pintu (h_1) sehingga dapat diketahui nilai banding a/h_1 , maka akan kita dapatkan pula suatu grafik hubungan antara tinggi muka air di depan pintu (h_1) dan debit yang mengalir di bawah pintu (Q) pada satu kondisi bukaan pintu ($a = 8 \text{ cm}$) lihat gambar 4.9 dan 4.10.

Tabel 14.

Hubungan tinggi muka air (h) dan debit (Q) dengan $a = 8 \text{ cm}$

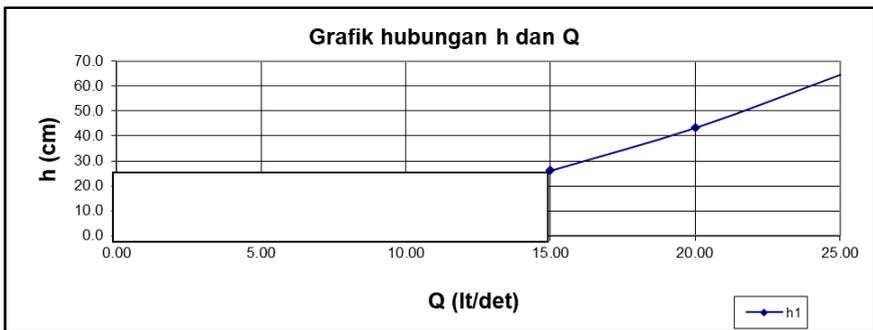
No	Debit Sal.	h_1	h_2	a/h_1	C_c	C_d	Q_2
	Q (lt/det)	(cm)	(cm)				(lt/det)
1	15	26.18	16.46	0.31	0.60	0.552	15.00
2	20	43.40	19.06	0.18	0.60	0.571	20.00
3	25	64.75	19.17	0.12	0.61	0.585	25.00

Sumber: Hasil Pengukuran

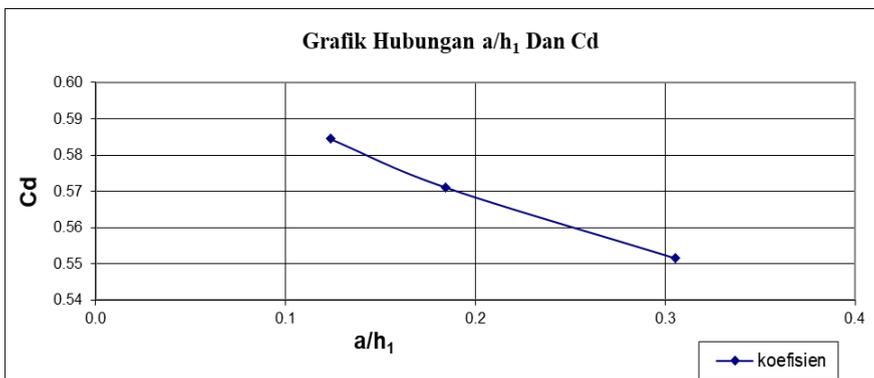
Tabel 15. Kesalahan relatif pada saluran tunggal dengan $a = 8\text{cm}$

No	Q_{hulu} (lt/det)	A (cm^2)	h rerata	V_{akt} (cm/det)	Q_{akt}	V_{teoritis} (hitung)	Q_{teoritis} (hitung)	Kesalahan Relatif (%)
1	15.0	785.4	0.19	19.14	15.0	19.92	15.65	4.11
2	20.0	1302.0	0.12	15.34	20.0	16.14	21.01	5.18
3	25.0	1942.5	0.08	12.89	25.0	13.73	26.67	6.54
Kesalahan relatif rata-rata								5.28

Sumber: Hasil Pengukuran



Gambar 15. Grafik hubungan antara h dan Q pada saluran 2



Gambar 16.

Grafik hubungan antara a/h_1 dengan C_d pada saluran 2

c. Pengoperasian Tiga Saluran

Perhitungan untuk debit, baik dengan operasi pintu maupun tanpa operasi pintu pada pengoperasian tiga saluran disajikan pada tabel 4.8 hingga 4.20.

1) Aliran Bebas Tanpa Pintu

Pada pengoperasian tiga saluran (arah frontal/ Q_2) tanpa pintu digunakan debit rencana 15 lt/det, 20 lt/det, 25 lt/det, 30 lt/det 35 lt/det dan 40 lt/det. Dari hasil penelitian dengan variasi debit tersebut, maka didapat nilai Q_{hilir} (Q_2) sebesar 71.24 %. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.8, sedangkan perbedaan debit yang terjadi pada saat dialiri debit rencana maksimum mempunyai kesalahan relatif kurang dari 10 % (lihat tabel 4.9).

Pada saluran satu (arah kiri/ Q_1), berdasarkan hasil perhitungan didapatkan debit sebesar 11.44 %, hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.10. Sedangkan pada saluran tiga (arah kanan/ Q_3), berdasarkan hasil perhitungan didapatkan debit sebesar 18.35 %, hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.11. Adapun grafik hubungan antara Q_1-h_1 dan Q_3-h_1 adalah dapat dilihat pada gambar 4.11 yang akan menunjukkan pembagian debit yang proporsional sesuai dengan model bangunan bagi tersebut.

Tabel 16. Hubungan h dan Q pada saluran 2

No	Debit Sal.	h_1	h_2	Q_2	Debit %
	Q (lt/det)	(cm)	(cm)	(lt/det)	
1	15	6.75	7.80	10.76	71.73
2	20	7.28	8.78	14.26	71.30
3	25	8.99	9.41	17.63	70.52
4	30	9.40	9.50	20.93	69.77
5	35	11.74	9.60	24.41	69.74
6	40	13.07	9.82	27.35	68.38
Debit rata-rata pada saluran 2 :					70.24

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 17. Kesalahan relatif pada saluran dua

No	Q _{hulu} (lt/det)	A (cm ²)	h rerata	V _{akt} (cm/det)	Q _{akt} (lt/det)	V _{teoritis} (cm/det)	Q _{teoritis} (lt/det)	Kesalahan relatif (%)
1	15	201.5	1.45	53.40	10.76	55.32	11.15	3.61
2	20	216.6	2.21	65.85	14.26	71.87	15.57	9.15
3	25	268.0	2.20	65.70	17.61	67.66	18.13	2.98
4	30	279.9	2.85	74.78	20.93	79.53	22.26	6.35
5	35	348.6	2.50	70.04	24.41	73.73	25.70	5.27
6	40	388.2	2.53	70.45	27.35	73.18	28.41	3.86
Kesalahan Relatif rata-rata								5.20

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 18. Tinggi muka air pada saluran 1

No	Debit Sal.	h_1	E	hf	f	h_2	Eg	hf	f	Q_1	Debit %
	Q (lt/det)	(cm)	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)	(cm)		(lt/det)	
1	15	6.00	6.614	0.700	0.087	3.50	4.214	1.400	0.174	1.582	10.55
2	20	6.10	7.852	1.350	0.089	4.30	5.452	1.400	0.093	2.167	10.84
3	25	6.70	7.965	3.450	0.141	4.70	6.565	1.700	0.070	2.757	11.03
4	30	8.10	11.572	2.360	0.057	6.40	9.572	0.400	0.010	3.596	11.99
5	35	8.40	12.700	3.860	0.064	8.20	12.800	-1.100	-0.018	4.330	12.37
6	40	8.50	13.339	5.580	0.077	8.50	14.039	-1.200	-0.017	4.752	11.88
Debit rata-rata pada pipa 1 :											11.44

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 19. Tinggi muka air pada pipa (saluran 3)

No	Debit uji Q (lt/det)	h ₁ (cm)	Eg (cm)	hf (cm)	f (cm)	h ₂ (cm)	Eg (cm)	hf (cm)	f (cm)	Q ₃ (lt/det)	Debit %
1	15	5.50	6.049	1.200	0.222	4.30	4.849	0.300	0.056	2.659	17.73
2	20	6.20	7.193	1.850	0.189	4.70	5.693	0.400	0.041	3.577	17.88
3	25	7.30	8.979	2.250	0.136	5.70	7.379	0.300	0.018	4.651	18.60
4	30	8.20	10.520	2.560	0.112	6.30	8.620	0.500	0.022	5.467	18.22
5	35	8.50	11.551	3.460	0.115	6.50	9.551	1.000	0.033	6.269	17.91
6	40	8.70	11.951	6.280	0.132	7.30	12.151	0.150	0.003	7.905	19.76
Debit rata-rata pada pipa 3 :											18.35

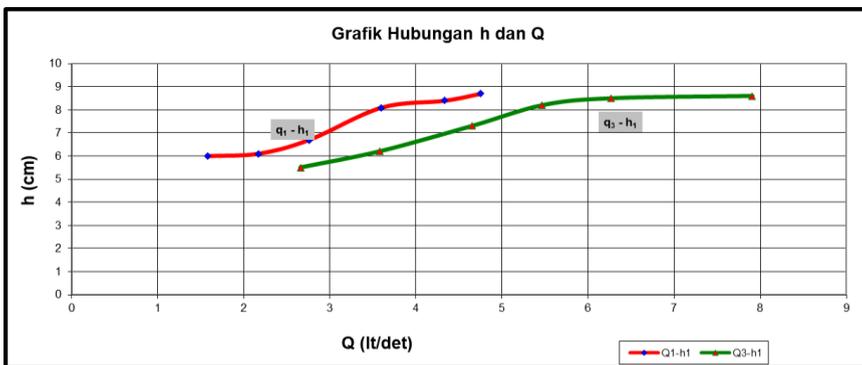
Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 20.

Rekapitulasi pengoperasian tiga saluran aliran bebas tanpa pintu

No	HULU Q Sal. (lt/det)	H I L I R											
		Saluran 1					Saluran 2		Saluran 3				
		Q ₁ (lt/det)	h ₁ (cm)	Eg (cm)	hf (cm)	f (cm)	Q ₂ (lt/det)	h ₁ (cm)	Q ₃ (lt/det)	h ₁ (cm)	Eg (cm)	hf (cm)	f (cm)
1	15	1.582	6.00	6.614	0.700	0.087	10.76	6.75	2.659	5.50	6.049	1.200	0.222
2	20	2.167	6.10	7.852	1.350	0.089	14.26	7.28	3.577	6.20	7.193	1.850	0.189
3	25	2.757	6.70	7.965	3.450	0.141	17.63	8.99	4.651	7.30	8.979	2.250	0.136
4	30	3.596	8.10	11.572	2.360	0.057	20.93	9.40	5.467	8.20	10.520	2.560	0.112
5	35	4.330	8.40	12.700	3.860	0.064	24.41	11.74	6.269	8.50	11.551	3.460	0.115
6	40	4.752	8.70	13.339	5.580	0.077	27.35	13.07	7.905	8.60	11.951	6.280	0.132

Sumber: Hasil Pengukuran



Gambar 17. Grafik hubungan h-Q pada saluran 1-3 dengan pengoperasian tiga saluran

2) Aliran Bebas dengan Pintu ($a = 4 \text{ cm}$)

Pengoperasian pintu pada box bagi dilakukan dengan harapan distribusi pembagian debit pada masing-masing saluran menjadi adil sehingga harga F (Froude) diatas ambang sama dengan satu ($F=1$). Pengujian pada pengoperasian tiga saluran dilakukan dengan mengalirkan beberapa variasi debit dan dengan membuka pintu setinggi 4 cm diatas ambang lebar sesuai dengan ketentuan Bos.

Debit yang mengalir pada masing-masing saluran dipantau dengan alat ukur debit di hilir. Adapun data dan hasil perhitungan dapat disajikan pada tabel 4.13 untuk Q_2 . Dari hasil perhitungan tersebut dengan menggunakan persamaan 2.5, maka dapat diketahui besarnya masing-masing koefisien debit (C_d) pada pintu.

Pada pipa satu (arah kiri/ Q_1) dengan menggunakan persamaan 2.14, maka akan didapatkan nilai debit pada masing-masing perlakuan (lihat tabel 4.14). Dengan menggunakan persamaan yang sama (2.14), maka akan didapatkan nilai debit pada pipa tiga (arah kanan/ Q_3) dan mendapatkan pula nilai koefisien debit (C_d) dan nilai koefisien gesekan (f) lihat tabel 4.15.

Jika dilihat pada tabel 4.16 (rekapitulasi), maka akan terlihat bahwa pembagian debit terjadi secara proporsional pada masing-masing saluran dengan bukaan pintu setinggi 4 cm. Hal tersebut dapat dituangkan pada gambar 4.12.

Tabel 21. Tinggi muka air pada saluran 2 dengan a = 4 cm

No	Debit uji	h ₁	h ₂	a	b	Cd	Q ₂	Debit
	Q							
	(lt/det)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		(lt/det)	%
1	15	8.95	7.31	4.00	30.00	0.76	12.15	80.99
2	20	12.83	7.48	4.00	30.00	0.78	14.85	74.25
3	25	16.88	7.68	4.00	30.00	0.78	17.10	68.40
4	30	20.13	7.84	4.00	30.00	0.79	18.79	62.64
5	35	22.92	8.01	4.00	30.00	0.79	20.13	57.51
6	40	23.52	8.20	4.00	30.00	0.80	20.62	51.56
Debit rata - rata pada saluran 2								65.89

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 22. Tinggi muka air pada saluran 1 (a=4cm)

No	Debit Sal.	h ₁	Cd	Eg	hf	f	h ₂	Eg	hf	f	Q ₁	Debit
	Q											
	(lt/det)	(cm)		(cm)	(cm)		(cm)	(cm)	(cm)		(lt/det)	%
1	15	8.46	0.167	5.54	3.160	1.021	3.300	3.536	1.1	0.3553	0.981	6.54
2	20	9.89	0.302	7.60	3.190	0.268	4.100	5.004	1.2	0.1011	1.918	9.59
3	25	12.06	0.413	10.36	3.760	0.139	5.200	7.261	2.2	0.0813	2.896	11.58
4	30	14.86	0.555	12.38	7.060	0.118	8.500	13.077	-1.6	-0.027	4.320	14.40
5	35	15.06	0.682	15.00	7.060	0.077	8.500	15.501	-1.6	-0.017	5.344	15.27
6	40	21.50	0.800	22.16	8.360	0.046	8.500	22.260	-1.3	-0.007	7.489	18.72
Debit rata - rata pada pipa 1											12.68	

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 23. Debit pada saluran 3 (a=4cm)

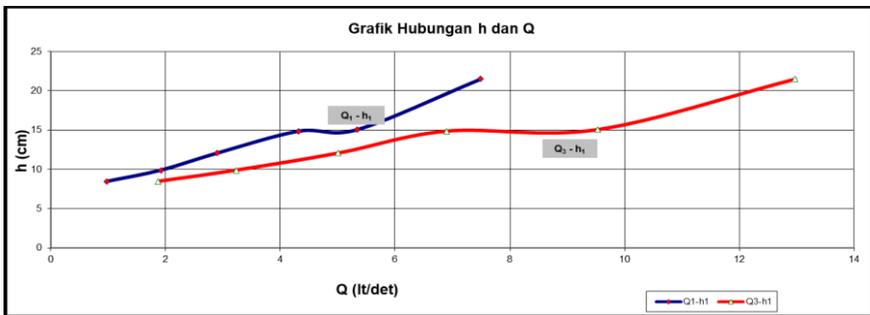
No	Debit Sal.	h ₁	Cd	Eg	hf	f	h ₂	Eg	hf	f	Q ₃	Debit
	Q											
	(lt/det)	(cm)		(cm)	(cm)		(cm)	(cm)	(cm)		(lt/det)	%
1	15	8.46	0.179	5.07	3.660	1.364	3.500	3.773	0.3	0.1118	1.8738	12.49
2	20	9.89	0.198	6.91	3.790	0.475	4.500	5.311	0.3	0.0376	2.2316	11.16
3	25	12.06	0.402	9.65	4.360	0.228	5.800	7.747	0.7	0.0365	5.0077	20.03
4	30	14.86	0.498	10.49	8.060	0.222	6.800	10.489	-0.2	-0.006	6.8935	22.98
5	35	15.06	0.684	14.85	7.260	0.105	7.600	14.650	-0.9	-0.013	9.5305	27.23
6	40	21.50	0.779	20.86	8.960	0.070	10.900	23.955	-2.4	-0.019	12.9685	32.42
Debit rata - rata pada pipa 3											21.05	

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 24. Rekapitulasi debit pada pengoperasian tiga saluran aliran bebas dengan bukaan pintu ($a=4$ cm)

No	HULU	H I L I R														
		Saluran 1						Saluran 2			Saluran 3					
		Q Sal. (lt/det)	Q ₁ (lt/det)	h ₁ (cm)	Cd	Eg (cm)	hf (cm)	f	Q ₂ (lt/det)	h ₁ (cm)	Cd	Q ₃ (lt/det)	h ₁ (cm)	Cd	Eg (cm)	hf (cm)
1	15	0.981	8.46	0.167	5.54	3.160	1.021	12.15	8.95	0.76	1.8738	8.46	0.179	5.07	3.660	1.364
2	20	1.920	9.89	0.302	7.60	3.190	0.268	14.85	12.83	0.78	3.2316	9.89	0.198	6.91	3.790	0.475
3	25	2.899	12.06	0.413	10.36	3.760	0.139	17.09	16.88	0.78	5.0077	12.06	0.402	9.65	4.360	0.228
4	30	4.320	14.86	0.555	12.38	7.060	0.118	18.78	20.13	0.79	6.8935	14.86	0.498	10.49	8.060	0.222
5	35	5.342	15.06	0.682	15.00	7.060	0.077	20.13	22.92	0.79	9.5303	15.06	0.684	14.85	7.260	0.105
6	40	7.489	21.50	0.800	22.16	8.360	0.046	20.62	23.52	0.80	12.9690	21.50	0.779	20.86	8.960	0.070

Sumber: Hasil Pengukuran



Gambar 18. Grafik hubungan h-Q pada saluran 1-3 dengan $a = 4$ cm (pengoperasian 3 saluran).

3). Aliran Bebas dengan Pintu ($a = 8$ cm)

Pengoperasian pintu pada box bagi dilakukan dengan harapan distribusi pembagian debit pada masing-masing saluran menjadi adil sehingga harga F (Froude) diatas ambang sama dengan satu ($F=1$). Pengujian pada pengoperasian tiga saluran dilakukan dengan mengalirkan beberapa variasi debit dan dengan membuka pintu setinggi 8 cm diatas ambang lebar sesuai dengan ketetapan Bos.

Debit yang mengalir pada masing-masing saluran dipantau dengan alat ukur debit di hilir. Adapun data dan hasil perhitungan dapat disajikan pada tabel 4.17 untuk Q₂. Dari hasil perhitungan tersebut dengan menggunakan persamaan 2.5, maka dapat diketahui besarnya masing-masing koefisien debit (Cd) pada pintu.

Pada saluran satu (arah kiri/Q₁) dengan menggunakan persamaan 2.14, maka akan didapatkan nilai debit pada masing-masing perlakuan (lihat tabel 4.18). Dengan menggunakan persamaan yang sama (2.14), maka akan didapatkan nilai debit pada saluran tiga (arah kanan/ Q₃) dan mendapatkan pula nilai koefisien debit (Cd) dan nilai koefisien gesekan (f) lihat tabel 4.19.

Jika dilihat pada tabel 4.20 (rekapitulasi), maka akan terlihat bahwa pembagian debit terjadi secara proporsional pada masing-masing saluran dengan bukaan pintu setinggi 8 cm. Hal tersebut dapat dituangkan pada gambar 4.13.

Tabel 25. Debit pada saluran 2 dengan a = 8 cm

No	Debit Sal.	h ₁	h ₂	a	b	Cd	Q ₂	Debit
	Q						(lt/det)	%
	(lt/det)	(cm)	(cm)	(cm)			(lt/det)	%
1	15	6.75	9.63	8.00	30.00	-	10.76	71.73
2	20	7.27	9.77	8.00	30.00	-	14.26	71.30
3	25	9.00	13.86	8.00	30.00	0.563	17.96	71.85
4	30	9.28	12.24	8.00	30.00	0.632	20.47	68.24
5	35	9.41	16.26	8.00	30.00	0.702	22.89	65.39
6	40	14.36	17.07	8.00	30.00	0.644	25.94	64.86
Debit rata - rata pada saluran 2								68.90

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 26. Debit pada saluran 1 (a=8cm)

No	Debit Sal.	h ₁	Cd	Eg	hf	f	h ₂	Eg	hf	f	Q ₁	Debit
	Q											
1	15	6.70	0.303	6.61	0.700	0.087	3.500	4.114	1.5	0.186	1.582	10.55
2	20	8.05	0.378	7.85	1.350	0.089	4.300	5.452	1.4	0.093	2.167	10.84
3	25	9.61	0.437	10.13	1.310	0.055	4.700	6.531	2.7	0.112	2.732	10.93
4	30	11.14	0.561	11.81	2.840	0.062	7.400	10.908	0.1	0.002	3.781	12.60
5	35	12.74	0.628	12.73	5.040	0.076	8.500	13.527	-1.3	-0.02	4.527	12.93
6	40	14.41	0.666	14.48	6.310	0.075	8.500	14.883	-1.8	-0.021	5.101	12.75
Debit rata - rata pada pipa 1											11.77	

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 27. Debit pada saluran 3 (a=8cm)

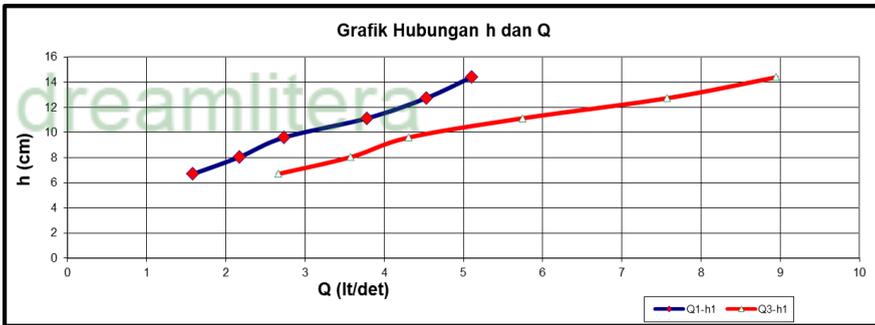
No	Debit Sal.	h ₁	Cd	Eg	hf	f	h ₂	Eg	hf	f	Q ₃	Debit
	Q											
1	15	6.70	0.286	6.05	1.200	0.222	3.500	4.849	0.4	0.074	2.6593	17.73
2	20	8.05	0.351	7.19	1.850	0.189	4.300	5.693	0.5	0.051	3.5767	17.88
3	25	9.61	0.387	9.04	2.010	0.142	4.700	7.242	0.5	0.035	4.3097	17.24
4	30	11.14	0.479	10.66	3.040	0.121	7.400	9.061	0.6	0.024	5.7442	19.15
5	35	12.74	0.591	11.65	5.540	0.127	8.500	11.247	-0.3	-0.007	7.5687	21.62
6	40	14.41	0.657	13.72	6.910	0.113	8.500	14.020	-0.7	-0.011	8.9515	22.38
Debit rata - rata pada pipa 3											19.33	

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 28. Rekapitulasi debit pada pengoperasian tiga saluran aliran bebas dengan bukaan pintu (a=8 cm)

No	HULU	H I L I R														
		Q Sal.	Saluran 1					Saluran 2				Saluran 3				
			(lt/det)	h ₁	Cd	Eg	hf	f	Q ₂	h ₁	Cd	Q ₃	h ₁	Cd	Eg	hf
(lt/det)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(lt/det)	(cm)	(cm)	(lt/det)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
1	15	1.582	6.70	0.303	6.61	0.700	0.087	10.76	6.75	0.000	2.6593	6.70	0.286	6.05	1.200	0.222
2	20	2.167	8.05	0.378	7.85	1.350	0.089	14.26	7.27	0.000	3.5767	8.05	0.351	7.19	1.850	0.189
3	25	2.732	9.61	0.437	10.13	1.310	0.055	17.96	9.00	0.563	4.3097	9.61	0.387	9.04	2.010	0.142
4	30	3.781	11.14	0.561	11.81	2.840	0.062	20.47	9.28	0.632	5.7442	11.14	0.479	10.66	3.040	0.121
5	35	4.527	12.74	0.628	12.73	5.040	0.076	22.89	9.41	0.702	7.5687	12.74	0.591	11.65	5.540	0.127
6	40	5.101	14.41	0.666	14.48	6.310	0.075	25.94	14.36	0.644	8.9515	14.41	0.657	13.72	6.910	0.113

Sumber: Hasil Pengukuran



Gambar 19. Grafik hubungan h-Q pada saluran 1-3 dengan $a = 8$ cm (pengoperasian 3 saluran)

d. Debit Rencana Pada Saluran

Debit rencana pada pipa 1 dan 3 dilakukan dengan tujuan untuk mengairi sawah sesuai dengan kebutuhan. Dalam hal ini digunakan debit hulu box bagi sebesar 20 lt/det dan 40 lt/det. Untuk mendapatkan Q_1 dan Q_3 yang sesuai dengan kebutuhan, maka dilakukan operasi pintu pada arah frontal dengan variasi tinggi bukaan pintu (lihat tabel 4.20 hingga 4.22) dengan mengabaikan besarnya debit pada saluran 2 arah frontal yang merupakan debit limpasan.

Variasi tinggi bukaan pintu diatas dilakukan untuk memperoleh tinggi muka air (h) yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai koefisien kecepatan (C_v) dan koefisien kontraksi (C_c). Dengan mendapatkan nilai koefisien kontraksi dan koefisien kecepatan, maka diperoleh nilai koefisien debit (C_d) yang digunakan untuk menghitung nilai debit pada pipa 1 dan pipa 3.

Pada gambar 4.14 menunjukkan grafik hubungan antara tinggi muka air pada as box bagi dengan koefisien debit yang terjadi pada pipa 1. Dengan melihat grafik tersebut, maka semakin tinggi bukaan pintu pada saluran 2 arah frontal akan semakin kecil nilai koefisien debitnya, begitu juga yang terjadi pada koefisien kecepatan sedangkan koefisien kontraksi nilainya akan lebih besar.

Pada gambar 4.15 menunjukkan grafik hubungan antara tinggi muka air pada as box bagi dengan koefisien debit yang terjadi pada pipa 3. Dengan melihat grafik tersebut, maka semakin tinggi bukaan pintu pada saluran 2 arah frontal akan semakin kecil nilai koefisien debitnya, begitu juga yang terjadi pada koefisien kecepatan sedangkan koefisien kontraksi jika dialirkan sebuah debit yang sama dengan bukaan pintu yang lebih tinggi, maka nilainya akan lebih tinggi dibanding dengan bukaan pintu yang rendah.

Pada gambar 4.17 yang merupakan grafik hubungan antara tinggi muka air pada box bagi dengan debit pada pipa 1 dan pipa 3. Debit yang mengalir pada pipa 1 (Q_1) dan pipa 3 (Q_3) terjadi kenaikan secara konstan sesuai dengan tinggi bukaan pintu yang menyesuaikan dengan debit rencana.

Tabel 29.

Variasi bukaan pintu pada dua perlakuan debit di saluran 2

No	Debit uji	h_1	a	a/h_1	C_c	C_d	Q_2
	Q	(cm)	(cm)				(lt/det)
1	20	10.00	5.00	0.50	0.560	0.58	12.26
2		15.00	3.00	0.20	0.530	0.53	8.23
3		18.00	2.00	0.11	0.540	0.54	6.10
4	40	20.00	4.00	0.20	0.530	0.53	12.67
5		25.00	3.00	0.12	0.500	0.50	9.98
6		28.00	2.00	0.07	0.450	0.45	6.33

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 30.

Variasi bukaan pintu pada dua perlakuan debit di saluran 1

No	Debit uji	h_1	C_v	C_c	C_d	Q_1	Diameter pipa	Tinggi a
	Q	(cm)				(lt/det)	(cm)	(cm)
1	20	10.00	0.807	0.706	0.569	3.64	7.620	5.00
2		15.00	0.804	0.882	0.710	5.55	7.620	3.00
3		18.00	0.802	0.918	0.736	6.31	7.620	2.00
4	40	20.00	0.858	0.882	0.757	13.14	7.620	4.00
5		25.00	0.853	0.941	0.803	13.44	7.620	3.00
6		28.00	0.851	0.965	0.821	15.12	7.620	2.00

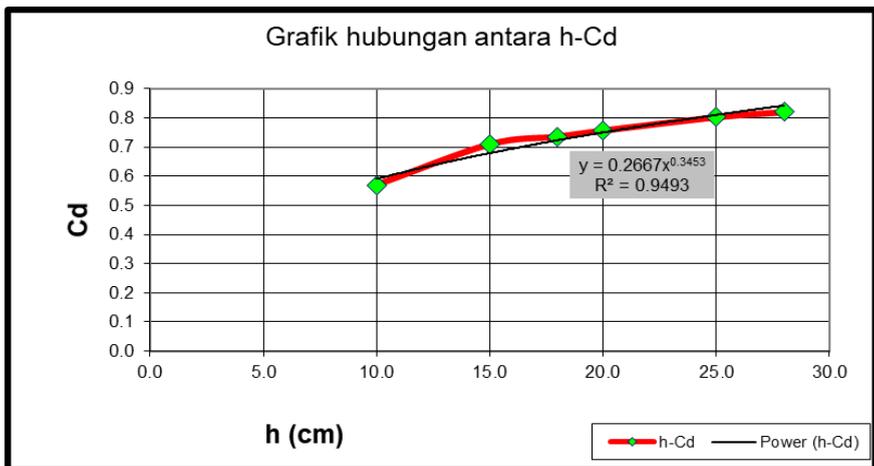
Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 31.

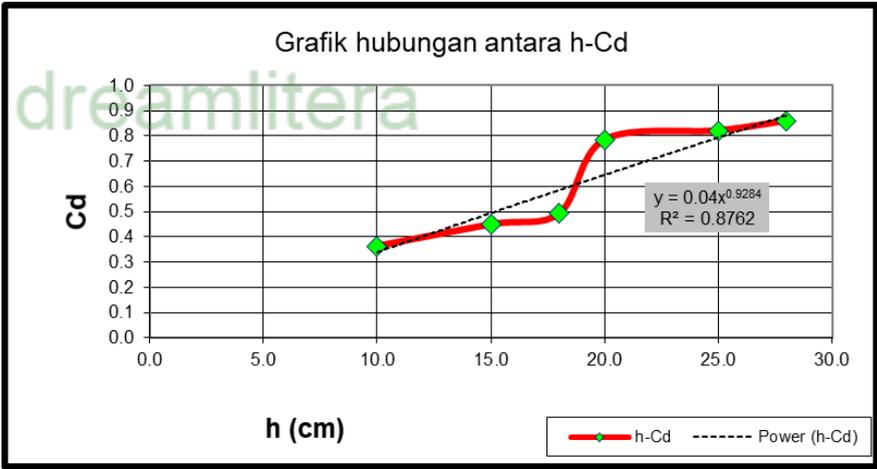
Variasi bukaan pintu pada dua perlakuan debit di saluran 3

No	Debit uji Q (lt/det)	h_1 (cm)	C_v	C_c	C_d	Q_3 (lt/det)	Diameter pipa (cm)	Tinggi a (cm)
1	20	10.00	0.507	0.714	0.362	4.11	10.16	5.00
2		15.00	0.495	0.905	0.448	6.23		
3		18.00	0.492	1.000	0.492	7.50		
4	40	20.00	0.868	0.905	0.786	14.17	10.16	4.00
5		25.00	0.862	0.952	0.821	16.56		
6		28.00	0.860	1.000	0.860	18.35		

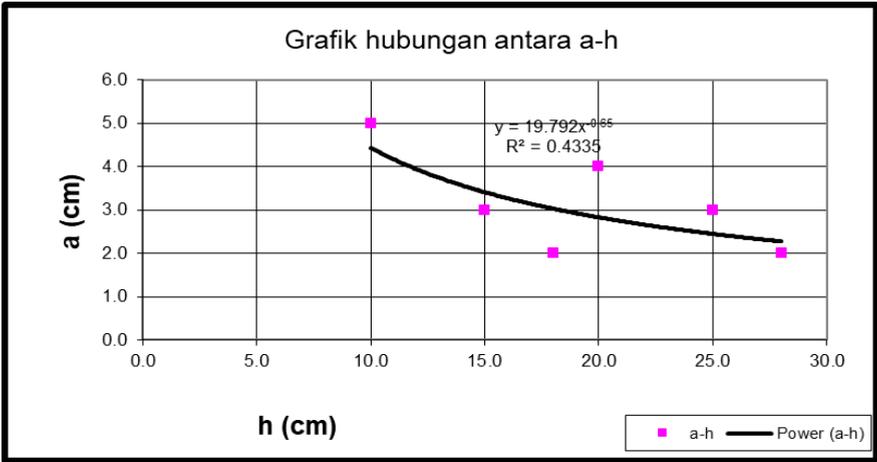
Sumber: Hasil Pengukuran



Gambar 20. Grafik hubungan antara h-Cd pada pipa 1



Gambar 21. Grafik hubungan antara h-Cd pada pipa 3

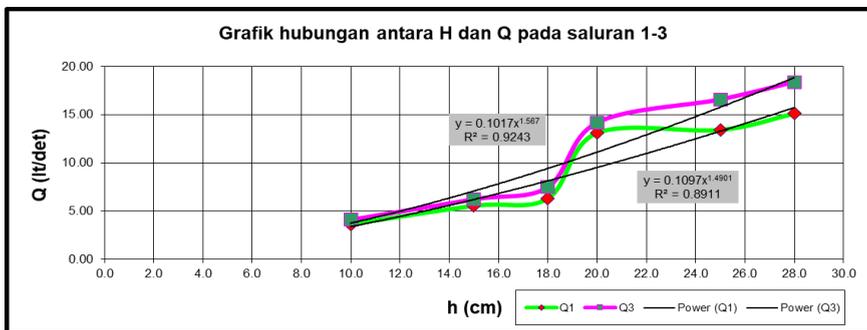


Gambar 22. Grafik hubungan antara a-h pada pipa 1 dan 3

Tabel 32. Rekapitulasi debit rencana pada pengoperasian tiga saluran dengan variasi bukaan pintu.

No	HULU	H I L I R									Cd
		Saluran 1			Saluran 2			a	Saluran 3		
		Q Uji (lt/det)	Q ₁ (lt/det)	h ₁ (cm)	Cd	Q ₂ (lt/det)	h ₁ (cm)		Cd	Q ₃ (lt/det)	
1	20.0	3.64	10.00	0.569	12.26	10.00	0.583	5.00	4.11	10.00	0.362
2		5.55	15.00	0.710	8.23	15.00	0.533	3.00	6.23	15.00	0.448
3		6.31	18.00	0.736	6.10	18.00	0.541	2.00	7.50	18.00	0.492
4	40.0	13.14	20.00	0.757	12.67	20.00	0.533	4.00	14.17	20.00	0.786
5		13.44	25.00	0.803	9.98	25.00	0.501	3.00	16.56	25.00	0.821
6		15.12	28.00	0.821	6.33	28.00	0.450	2.00	18.35	28.00	0.860

Sumber: Hasil Pengukuran



Gambar 23. Grafik hubungan tinggi muka air dan debit pada saluran 1 dan 3

Pada perlakuan ke dua, digunakan debit hulu box bagi yang besarnya bervariasi antara 10 lt/det sampai 40 lt/det dengan debit pada pipa 1 dan pipa 3 tetap guna memenuhi kebutuhan satu jenis tanaman dengan luas lahan yang tetap, sehingga diperlukan debit yang tetap. Dengan melihat rencana debit diatas, maka diperlukan variasi tinggi bukaan pintu pada arah frontal untuk memperoleh tinggi muka air yang sama pada box bagi tiap variasi debit hulu dengan tujuan untuk mendapatkan debit rencana tersebut.

Dengan variasi bukaan pintu di atas, maka akan diperoleh nilai debit pada saluran 2 yang bervariasi, tetapi dalam hal ini tidak terlalu berpengaruh pada pembagian air karena merupakan debit limpasan saja. Jadi, perlakuan kedua ini dilakukan jika debit pada pipa 1 dan pipa 3 dikehendaki besarnya tetap sedangkan debit pada hulu bervariasi, sehingga diperlukan variasi bukaan pintu (lihat tabel 4.24 hingga 4.27).

Tabel 33.

Debit rencana dengan variasi bukaan pintu pada Saluran 2

No	Debit uji	h_1	a	a/h_1	Cc	Cd	Q_2
	Q						
	(lt/det)	(cm)	(cm)				(lt/det)
1	10	9.64	1.50	0.16	0.560	0.56	3.48
2	20	9.64	5.60	0.58	0.530	0.56	12.87
3	25	9.64	8.00	0.83	0.540	0.55	18.18
4	30	9.64	10.00	1.04	0.540	0.55	23.27
5	35	9.64	12.00	1.24	0.540	0.55	27.68
6	40	9.64	14.50	1.50	0.540	0.55	33.44

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 34.

Debit rencana dengan variasi bukaan pintu pada Saluran 1

No	Debit uji	h_1	Cv	Cc	Cd	Q_1
	Q					
	(lt/det)	(cm)				(lt/det)
1	10	9.64	0.363	1.265	0.459	2.88
2	20	9.64	0.363	1.265	0.459	2.88
3	25	9.64	0.363	1.265	0.459	2.88
4	30	9.64	0.363	1.265	0.459	2.88
5	35	9.64	0.363	1.265	0.459	2.88
6	40	9.64	0.363	1.265	0.459	2.88

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 35.

Debit rencana dengan variasi bukaan pintu pada Saluran 3

No	Debit uji	h_1	Cv	Cc	Cd	Q_3
	Q					
1	10	9.64	0.391	0.918	0.359	4.00
2	20	9.64	0.391	0.918	0.359	4.00
3	25	9.64	0.391	0.918	0.359	4.00
4	30	9.64	0.391	0.918	0.359	4.00
5	35	9.64	0.391	0.918	0.359	4.00
6	40	9.64	0.391	0.918	0.359	4.00

Sumber: Hasil Pengukuran

Tabel 36. Rekapitulasi debit rencana pada pengoperasian tiga saluran dengan variasi bukaan pintu.

No	HULU	H I L I R									
		saluran 1			Saluran 2				Saluran 3		
		Q Uji	Q_1	h_1	Cd	Q_2	h_1	Cd	a	Q_3	h_1
(lt/det)	(lt/det)	(cm)		(lt/det)	(cm)		(cm)	(lt/det)	(cm)		
1	10	2.88	9.64	0.459	3.48	9.64	0.56	1.50	4.00	9.64	0.359
2	20	2.88	9.64	0.459	12.87	9.64	0.56	5.60	4.00	9.64	0.359
3	25	2.88	9.64	0.459	18.18	9.64	0.55	8.00	4.00	9.64	0.359
4	30	2.88	9.64	0.459	23.27	9.64	0.55	10.00	4.00	9.64	0.359
5	35	2.88	9.64	0.459	27.68	9.64	0.55	12.00	4.00	9.64	0.359
6	40	2.88	9.64	0.459	33.44	9.64	0.55	14.50	4.00	9.64	0.359

Sumber: Hasil Pengukuran

5. Kesimpulan Percobaan

Berdasarkan penjelasan dan perhitungan yang telah dijelaskan, maka dapat disimpulkan beberapa hal penting sebagai berikut:

1. Nilai koefisien debit (Cd) pada pintu saluran irigasi adalah 0.56.
2. Pada hasil pengamatan, aliran terjadi dalam pipa mempunyai nilai koefisien gesekan (f) adalah sebesar 0.046.
3. Pada pengoperasian satu saluran, didapat nilai debit yang sama antara debit hulu dan debit hilir.
4. Sedangkan pada pengoperasian tiga saluran, jika dilakukan tanpa pintu, maka didapatkan untuk saluran satu 11.44 %, saluran dua 71.24 % dan pada saluran tiga 18.35 %.
5. Pada pengoperasian tiga saluran dengan menggunakan satu pintu pada arah frontal dengan tinggi bukaan pintu 4 cm, maka didapatkan 12.68 % pada pipa satu, 65.89 % pada saluran dua dan 21.05 % pada pipa 3.
6. Pada pengoperasian tiga saluran dengan menggunakan satu pintu pada arah frontal dengan tinggi bukaan pintu 8 cm didapatkan 11.77 % pada pipa satu, 68.90 % pada saluran dua dan 19.33 % pada pipa 3, maka debit pada ketiga saluran tersebut adalah proporsional terhadap diameter pipa dan tinggi bukaan pintu.
7. Pada debit rencana dapat disimpulkan bahwa dengan adanya tinggi muka air yang diatur karena tinggi bukaan pintu, maka dapat digunakan persamaan pada pipa 1 $y = 0.1097 (h)^{1.4901}$ sedangkan pada pipa 3 didapatkan persamaan $y = 0.1017 (h)^{1.567}$.

Jadi pembagian debit rencana pada pipa 1 dan 3 terjadi secara proporsional terhadap diameter pipa, variasi debit dan variasi tinggi bukaan pintu.

6. Penutup

Agar dapat mencukupi kebutuhan air di setiap petak di area pertanian, maka dibutuhkan saluran irigasi yang memadai. Mengingat tulisan ini diangkat dari hasil penelitian penulis, maka disarankan bagi peneliti di bidang terkait untuk mengembangkan penelitian terkait saluran irigasi dengan menggunakan tingkat ketelitian yang lebih tinggi. Selain itu, pengembangan saluran irigasi juga dapat dikembangkan dengan menggunakan dua operasi pintu, sehingga dapat direncanakan debit pada setiap saluran, atau dengan menggunakan beberapa variasi diameter pipa dan elevasi.

Penulis sangat mendukung pengembangan teori dan teknologi terkait saluran irigasi, sehingga diharapkan tulisan ini dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi penulis dan peneliti selanjutnya. Tentu hal tersebut akan mampu melengkapi kekurangan yang ada di buku ini. Akhirnya, penulis mengucapkan mohon maaf atas segala kekurangan, dan terima kasih atas segala kesediaan menyimak dan umpan balik dari pembaca. Semoga bermanfaat.

- Anonymous, 1975. Operation and Maintenance Study. Present Practices (Part I). Direktorat General of Water Resources Development, Ministry of Public Work. Jakarta.
- _____, 1986, Standart Perencanaan Irigasi. Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi (KP-01). Badan Penerbit Pekerjaan Umum Jakarta. 213 Hal.
- _____, 1986, Standart Perencanaan Irigasi. Kriteria Perencanaan Jaringan Bangunan (KP-04). Badan Penerbit Pekerjaan Umum Jakarta. 252 Hal.
- 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 Envirormental Development Institute. Korea. P. 353.
- Priyantoro, D. 1991. Hidrolika Saluran Tertutup. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang. 106. Hal.
- Priyantoro, D. dan Valiant, R.1996. Pola Pembagian Debit Pada Conduit Diatas Ambang Lebar. Jurnal Teknik fakultas Teknik Universitas Brawijaya, malang, Vol. III, No.5. Hal 107-115.
- 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.
- _____, 1993. Hidraulika II. Penerbit Beta Offset. Yogyakarta. 172.Hal.
- Valiant, Raymond. 1996. Uji Model Fisik Untuk Proporsionalitas Debit di Atas Ambang Lebar Dengan Penambahan Conduit. Skripsi (Sarjana Teknik). Universitas Brawijaya. (Tidak Diterbitkan). 42.Hal.
- Wignyosukarto, 1987/1988. Hidraulika Muka Air Terbuka. Universitas Gadjahmada. Yogyakarta.

Biodata Penulis



A. Identitas Diri

Nama : Lies Kurniawati Wulandari
Program Studi : Teknik Sipil
Minat : Sumber Daya Air
Unit Kerja : Dosen Tetap ITN Malang
NIP.P : 1031500485
NIDN : 0728076301
Jabatan Fungsional : Lektor
Alamat kantor : Jln. Bend. Sigura-gura No. 2 Malang
Alamat Rumah : Jln. Ters. Bend. Sigura-gura B/32 malang
Tempat Tgl. Lahir : Malang, 28 juli 1963
Email : lieskwulandari@gmail.com
Ayah : H. Sardjio Budisantoso (alm)
Ibu : Hj. Titik Umiyati (almh)
Suami : Sambodo
Anak : Dimas Kurniawan Hartanto

B. Riwayat Pendidikan

S1 Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang (Lulus Pebruari 1989 dengan IPK 2,5)

S2 Teknik Sipil-Sumber Daya Air, Universitas Brawijaya Malang (1999 - 2001, IPK 3,38)

S3 Teknik Sipil-Sumber Daya Air, Universitas Brawijaya Malang (2014-2018, IPK 3,9)

C. Riwayat pekerjaan

1. Dosen Luar Biasa UNMER Malang (1990 – 1992)
2. Konsultan Wahana Adya Malang (1992 – 1997)
3. Dosen Tetap STTM (1997 – 2015)
4. Dosen Luar Biasa Widya Karya (1999 -2003)
5. Konsultan Supervisi di UNISMA (2002 – 2014)
6. Dosen Luar Biasa di UNISMA (2012 – 2018)
7. Dosen Tetap ITN Malang (Juli 2015 – sekarang)

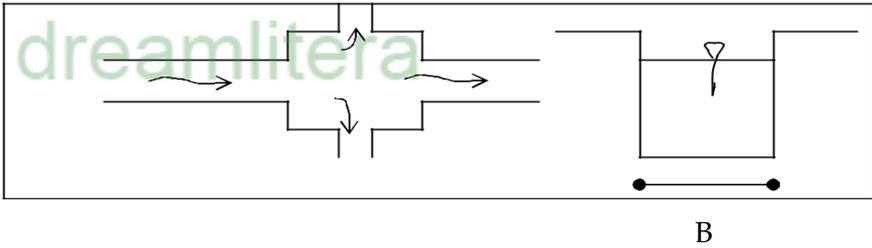
LAMPIRAN 1. Perancangan Model Bangunan**PERENCANAAN BOX BAGI AMBANG LEBAR****I. Perencanaan saluran dan ambang**

Model Bangunan Dalam penelitian ini, direncanakan dengan skala 1 : 1 yaitu ukuran model ukuran model sama dengan prototipe. Perhitungan perencanaan model saluran, ambang dan pipa secara analitis yang akan dipakai dalam penelitian dngan tetapan perhitungan sbb :

1. Data teknis yang diberikan :

- debit maksimum rencana (Q) = 40 lt/det
- lebar dasar saluran (B) = 30 cm
- Kemiringan dasar saluran (S) = 0.00027
- Angka kekasaran (n) = 0.011

2. Perhitungan kedalaman normal



Persamaan Manning :

$$1. Q = A \cdot V$$

Dimana :

$$A = h \cdot B$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Perencanaan Box Bagi Ambang Lebar

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(h \times B)}{B + (2 \times h)}$$

$$Q = (h \times B) \times \left[\frac{1}{n} \times \left(\frac{(h \times B)}{B + (2 \times h)} \right)^{2/3} \right] \times (S)^{1/2}$$

Jadi :

$$40.000 = (h \times 30) \times \left[\frac{1}{0.011} \times \left(\frac{(h \times B)}{B + (2 \times h)} \right)^{2/3} \right] \times (S)^{1/2}$$

Dengan cara coba – coba diperoleh harga kedalaman normal di saluran utama (h)

$$= 28.18 \text{ cm}$$

$$H = h + \frac{Q^2}{2 \times g \times A^2}$$

$$H = 28.18 + \frac{(40.000)^2}{2 \times 981 \times (28.18 \times 30)^2}$$

$$3 = 28.18 + 1.1410$$

$$H = 29.3210 \text{ cm}$$

Kontrol Aliran :

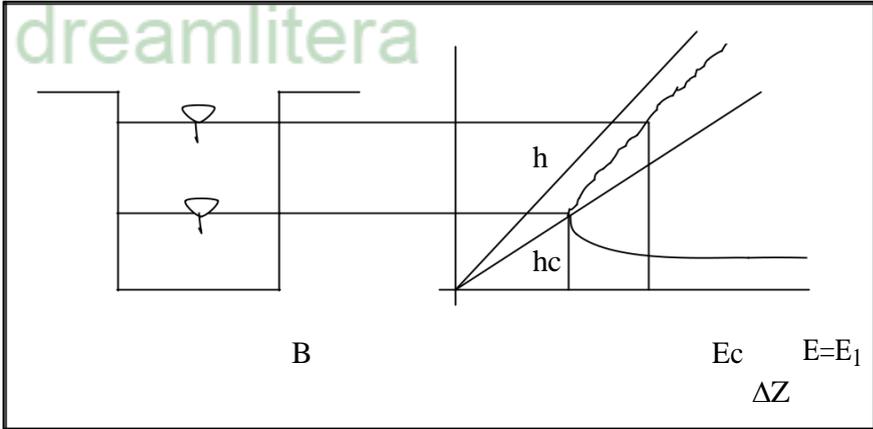
$$V = \frac{Q}{A} = \frac{40.000}{B + (2 \times 28.18)} = 47.3149 \text{ cm/det.}$$

$$D = \frac{A}{T} = \frac{(28.18 \times 30)}{30 + (2 \times 28.18)} = 9.7893 \text{ cm}$$

Perencanaan box Bagi Ambang Lebar

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \times D}} = \frac{47.3149}{\sqrt{981 \times 9.7893}} = 0.4828 \longrightarrow \text{aliran sub kritis}$$

3. Perhitungan energi spesifik



Gambar : Kurva energi spesifik untuk $Q = 40 \text{ lt/det}$

$$E = h + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot A^2}$$

$$E = 28.18 + \frac{40.000}{2.981 \cdot (30 \times 28.18)^2}$$

$$E = E_1 = 29.3210 \text{ cm}$$

$$E = E_1 = h_1 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot A_1^2} + C \cdot \frac{V - V_1}{2g}$$

dimana harga $C = 0.25$ (KP 04 : 61)

Perencanaan Box Bagi Ambang Lebar

$$E_c = \frac{3}{2} \cdot (6.0407) = 9.0610 \text{ cm}$$

$$V_c = \frac{q_1}{H_c} = \frac{133.333}{6.0407} = 22.0725 \text{ cm}$$

Maka tinggi ambang (ΔZ) = $E_1 - E_c = 29.3210 - 9.0610 \text{ cm} = 20.26 \text{ cm}$

4. Perhitungan dimensi ambang

Dihitung :

$$h_1 = 28.18 \text{ cm}$$

$$\Delta Z = 20.26 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

maka :

$$H_1 = h_1 + \frac{Q}{2 \times g \times A_1^2} + C \cdot \left(\frac{(V-V_1)^2}{2 \times g} \right)$$

$$H_1 = 28.18 + \frac{40.000^2}{2 \times 981 \times (30 \times 28.18)^2 + 0.25} \left(\frac{47.3149 - \left(\frac{40.000}{30 \times 28.18} \right)}{2 \times 981} \right)$$

$$H_1 = 29.3210 \text{ cm}$$

Panjang ambang (L) direncanakan berdasarkan ketentuan Bos (1976 :123), dimana $H_1/L = 0.3$ atau $L = 3.34 H_1$

$$\text{Jadi : } L = 3.34 (29.3210 - 20.26) = 30 \text{ cm}$$

Thompson Kiri

$$B = 0,970 \text{ m}$$

$$D = 0,155 \text{ m}$$

$$IPG = 32,420 \text{ cm}$$

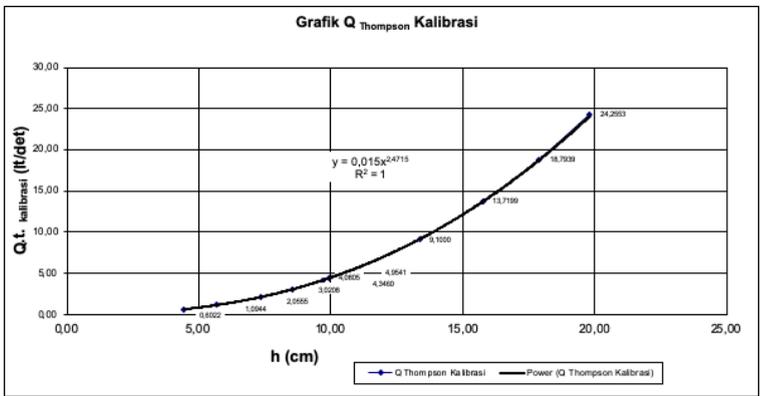
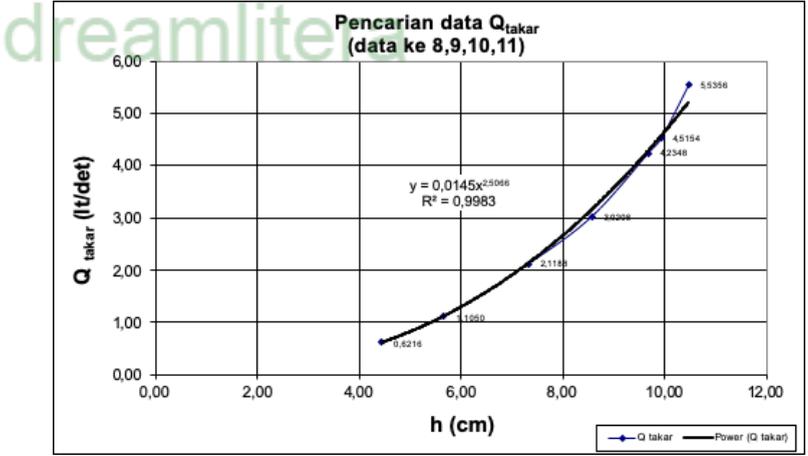
Kesalahan Relatif Debit Thompson 1

No	Bacaan	Tebal Air	Tebal Air	K	$Q_{Thompson}$	Q_{takar}	Kesalahan	$Q_{Thompson}$	$K_2 =$
	(cm)	h	h		(Q Hitung)	(Q aktual)	Relatif	Kalibrasi	Q_{tak}/Q_{thomp}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	27,980	4,440	0,044	1,445	0,600	0,6216	3,459	0,6022	
2	26,750	5,670	0,057	1,424	1,090	1,1050	1,314	1,0944	
3	25,090	7,330	0,073	1,408	2,048	2,1188	3,334	2,0555	
4	23,850	8,570	0,086	1,400	3,010	3,0208	0,356	3,0208	
5	22,740	9,680	0,097	1,395	4,066	4,2348	3,987	4,0805	1,004
6	22,490	9,930	0,099	1,394	4,330	4,5154	4,095	4,3460	
7	21,950	10,470	0,105	1,392	4,936	5,5356	10,823	4,9541	
8	19,040	13,380	0,134	1,385	9,068	9,6592	6,125	9,1000	
9	16,640	15,780	0,158	1,382	13,671	14,6064	6,404	13,7199	
10	14,520	17,900	0,179	1,381	18,727	20,0341	6,524	18,7939	
11	12,600	19,820	0,198	1,382	24,169	25,8635	6,552	24,2553	
Kesalahan Relatif Rata-Rata =							4,816		

Keterangan Tabel :

- (1) = Nomor urut
- (2) = Pembacaan data pengukuran Thompson
- (3) = IPG - Bacaan (cm)
- (4) = IPG - Bacaan (m)
- (5) = $1,3533+(0,004/h)+(0,0167*(8,4+(12/D0,5)))x(((h/B)(0,09))^2)$
- (6) = $(k.h 2,5)/0,001$
- (7) = Debit pengukuran secara manual (debit aktual)
- (8) = Nilai absolut $((Q_{Takar} - Q_{Thompson})/ Q_{Takar}) \times 100\%$
- (9) = (10) x $Q_{Thompson}$
- (10) = $Q_{takar}/Q_{thompson}$

GRAFIK Q THOMPSON 1



DATA PENGUKURAN BANGUNAN BOX BAGI SALURAN 2 (Kamis, 18 Januari 2018)

dreamlitera

Diketahui :

Thomson Kiri :

$$B = 0,970 \text{ m}$$

$$D = 0,155 \text{ m}$$

$$IPG = 32,420 \text{ cm}$$

Rechbox:

$$b = 0,955 \text{ m}$$

$$B = 2,630 \text{ m}$$

$$D = 2,275 \text{ m}$$

Thomson Utama :

$$B = 1,010 \text{ m}$$

$$D = 0,410 \text{ m}$$

$$IPG = 27,000 \text{ cm}$$

Thomson Kanan :

$$B = 0,800 \text{ m}$$

$$D = 0,165 \text{ m}$$

$$IPG = 19,810 \text{ cm}$$

No	h (cm)	Q (ml)	Q		Waktu (dtk)	Q takar (lt)	Q (lt / dtk)	Bacaan Rechbox	Bacaan Thompson	Bacaan di atas ambang			h rata2 (cm)	Bacaan Pitot			h _{pitot} rata2 (cm)	V _{pitot} (cm/dtk)
			takar (lt)	takar (lt)						Kiri (cm)	As (cm)	Kanan (cm)		Kiri (cm)	As (cm)	Kanan (cm)		
1	0,50	1	1460	1,460	2,10	0,6952				53,01	53,36	53,58	0,793	0,25	0,30	0,30	0,283	23,578
			1500	1,500	2,30	0,6522	0,6537	36,50	31,70	52,27	52,53	52,77						
			1720	1,720	2,70	0,6370				0,74	0,83	0,81						
			1600	1,600	2,50	0,6400												
			1550	1,550	2,40	0,6458												
2	0,75	1	3560	3,560	3,00	1,1867												
			2800	2,800	2,30	1,2174	1,2200	36,75	32,93	53,49	53,72	54,07	1,237	0,85	0,80	1,00	0,883	41,631
			2880	2,880	2,40	1,2000				52,27	52,53	52,77						
			3330	3,330	2,60	1,2808												
			2340	2,340	2,00	1,1700				1,22	1,19	1,30						
			2530	2,530	2,00	1,2650												
3	1,00	1	3780	3,780	1,80	2,1000												
			3820	3,820	1,90	2,0105	2,1381	37,00	34,48	53,83	54,25	54,47	1,660	1,10	1,10	1,10	1,100	46,456
			3800	3,800	1,70	2,2353				52,27	52,53	52,77						
			3840	3,840	1,70	2,2588												
			3870	3,870	1,80	2,1500				1,56	1,72	1,70						
			3940	3,940	1,90	2,0737												
4	1,25	1	4700	4,700	1,40	3,3571												
			4560	4,560	1,10	4,1455	3,4555	37,25	35,70	54,27	54,89	54,71	2,100	1,30	1,40	1,55	1,417	52,721
			4760	4,760	1,30	3,6615				52,27	52,53	52,77						
			5150	5,150	1,60	3,2188												
			5120	5,120	1,60	3,2000				2,00	2,36	1,94						
			5040	5,040	1,60	3,1500												
5	1,50	1	4750	4,750	1,10	4,3182												
			6020	6,020	1,50	4,0133	4,3518	37,50	36,60	54,51	55,11	54,97	2,340	2,20	2,15	2,20	2,183	65,450
			6240	6,240	1,50	4,1660				52,27	52,53	52,77						
			5440	5,440	1,20	4,5333												
			6260	6,260	1,40	4,4714				2,24	2,58	2,20						
			6460	6,460	1,40	4,6143												
6	1,75	1	4950	4,950	1,00	4,9500												
			5480	5,480	1,20	4,5667	4,7740	37,75	37,11	54,75	55,41	55,29	2,627	1,35	1,35	1,40	1,367	51,782
			6310	6,310	1,30	4,8538				52,27	52,53	52,77						
			6780	6,780	1,50	4,5200												
			6980	6,980	1,50	4,6533				2,48	2,88	2,52						
			5100	5,100	1,00	5,1000												
7	2,00	1	5550	5,550	0,80	6,9375												
			5980	5,980	1,10	5,4364	5,8293	38,00	38,00	55,21	55,72	55,46	2,940	2,10	2,15	2,20	2,150	64,948
			6110	6,110	1,00	6,1100				52,27	52,53	52,77						
			5000	5,000	0,90	5,5556												
			6740	6,740	1,20	5,6167				2,94	3,19	2,69						
			5320	5,320	1,00	5,3200												

Thompson Utama :

$$B = 1,010 \text{ m}$$

$$D = 0,410 \text{ m}$$

$$IPG = 27,000 \text{ cm}$$

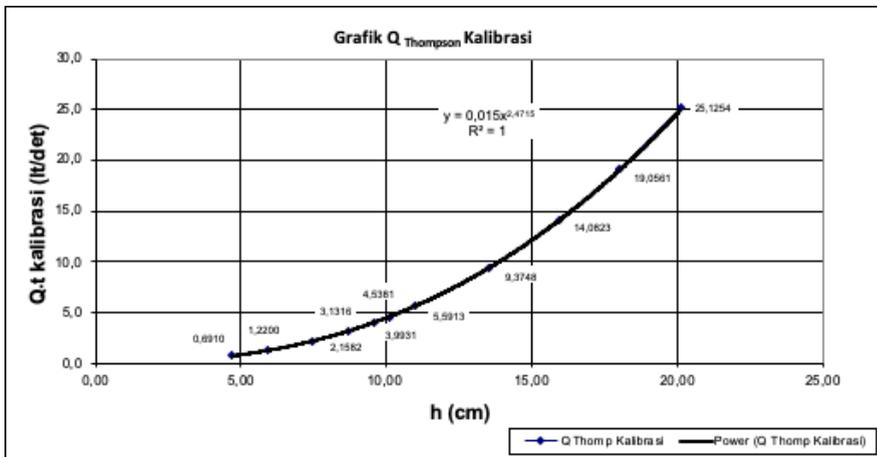
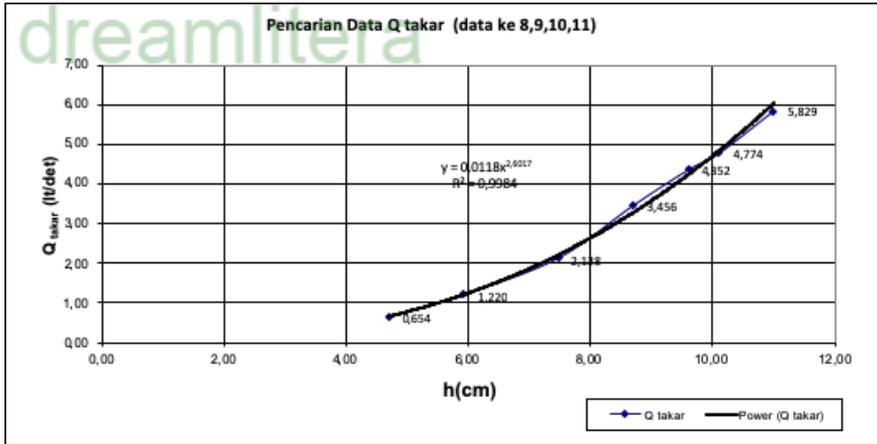
Kesalahan Relatif Debit Thompson 2

No	Bacaan	Tebal Air	Tebal Air	K	Q _{Thompson}	Q _{takar}	Kesalahan	Q _{Thompson}	K ₂ =
	(cm)	h	h		(Q _{hitung})	(Q _{aktual})	Relatif	Kalibrasi	Q _{tak} /Q _{thomp}
		(cm)	(m)		(lt/det)	(lt/det)	(%)	(lt/det)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	31,70	4,700	0,0470	1,439	0,689	0,654	5,4402	0,6910	
2	32,93	5,930	0,0593	1,421	1,217	1,220	0,2458	1,2200	
3	34,48	7,480	0,0748	1,407	2,153	2,138	0,6900	2,1582	
4	35,70	8,700	0,0870	1,399	3,124	3,456	9,5949	3,1316	
5	36,60	9,600	0,0960	1,395	3,983	4,352	8,4672	3,9931	
6	37,11	10,110	0,1011	1,393	4,527	4,774	5,1759	4,5381	1,0025
7	38,00	11,000	0,1100	1,390	5,578	5,829	4,3190	5,5913	
8	40,55	13,550	0,1355	1,384	9,352	10,396	10,0413	9,3748	
9	42,96	15,960	0,1596	1,380	14,048	15,915	11,7340	14,0823	
10	45,02	18,020	0,1802	1,379	19,009	21,826	12,9066	19,0561	
11	47,13	20,130	0,2013	1,379	25,064	29,113	13,9102	25,1254	
Kesalahan relatif rata-rata =							7,5023		

Keterangan Tabel :

- (1) = Nomor urut
- (2) = Pembacaan data pengukuran Thompson
- (3) = Bacaan - IPG (cm)
- (4) = Bacaan - IPG (m)
- (5) = $1,3533 + (0,004/h) + (0,0167 * (8,4 + (12/D 0,5))) * (((h/B) - (0,09))^2)$
- (6) = $(k.h 2,5)/0,001$
- (7) = Debit pengukuran secara manual (debit aktual)
- (8) = Nilai absolut $((Q_{Takar} - Q_{Thompson}) / Q_{Takar}) * 100\%$
- (9) = (10) x Q_{Thompson}
- (10) = Q_{takar}/Q_{thompson}

GRAFIK Thompson 2 (utama)



DATA PENGUKURAN BANGUNAN BOX BAGI SALURAN 3 (Selasa, 16 Januari 2018)

Diketahui :

Thomson Kiri :	Rechbox :
B = 0,970 m	b = 0,955 m
D = 0,155 m	B = 2,630 m
IPG = 32,420 cm	D = 2,275 m

Thomson Utama :

B = 1,010 m
 D = 0,410 m
 IPG = 27,000 cm

Thomson Kanan :

B = 0,800 m
 D = 0,165 m
 IPG = 19,810 cm

No	h (cm)	Q	Q		Waktu (dtk)	Q		Q rata2 (lt / dtk)	Bacaan Rechbox	Bacaan Thompson	Bacaan di atasambang			h rata2 (cm)	Bacaan Pitot			h _{pasir} rata2 (cm)	V _{pasir} (cm/dtk)		
			takar (ml)	takar (lt)		takar (lt / dtk)	takar (lt / dtk)				Kiri (cm)	As (cm)	Kanan (cm)		Kiri (cm)	As (cm)	Kanan (cm)				
1	0,50	1	2180	2,180	3,50	0,6229						52,84	52,90	52,94	0,863	0,20	0,25	0,25	0,233	21,396	
		2	2160	2,160	3,50	0,6171						52,19	52,01	51,89							
		3	1760	1,760	3,10	0,5677	0,6612	36,50				0,65	0,89	1,05							
		4	2180	2,180	3,2	0,6813															
		5	1970	1,970	2,7	0,7296															
		6	2470	2,470	3,3	0,7485															
2	0,75	1	2420	2,420	2,10	1,1524															
		2	2990	2,990	2,80	1,0679															
		3	3320	3,320	2,90	1,1448	1,0545	36,75			14,01	53,25	53,34	53,4	1,300	0,30	0,30	0,30	0,300	24,261	
		4	2240	2,240	2,80	0,8000															
		5	2680	2,680	2,50	1,0720															
		6	3160	3,160	2,90	1,0897															
3	1,00	1	3360	3,360	1,60	2,1000															
		2	3670	3,670	1,90	1,9316															
		3	3760	3,760	2,00	1,8800	1,9823	37,00			12,55	53,69	53,80	53,92	1,773	0,75	0,65	0,70	0,700	37,059	
		4	3200	3,200	1,60	2,0000															
		5	4000	4,000	2,00	2,0000															
4	1,25	1	5080	5,080	1,80	2,8222															
		2	3700	3,700	1,10	3,3636															
		3	5160	5,160	1,60	3,2250	3,1370	37,25			11,18	54,44	54,55	54,45	2,450	0,90	0,95	1,00	0,950	43,173	
5	1,50	1	5680	5,680	1,40	4,0571															
		2	5700	5,700	1,30	4,3846															
		3	5200	5,200	1,50	3,4667	3,9812	37,50			10,18	54,71	54,74	54,80	2,720	1,275	1,20	1,20	1,225	49,025	
		4	5420	5,420	1,40	3,8714															
		5	5700	5,700	1,40	4,0714															
		6	5650	5,650	1,40	4,0357															
6	1,75	1	6030	6,030	1,40	4,3071															
		2	5760	5,760	1,30	4,4308															
		3	5860	5,860	1,40	4,1857	4,3458	37,75			9,97	54,69	54,75	54,87	2,740	1,60	1,60	1,45	1,550	55,146	
		4	6480	6,480	1,60	4,0500															
		5	5450	5,450	1,30	4,1923															
		6	5400	5,400	1,10	4,9091															
7	2,00	1	5800	5,800	1,00	5,8000															
		2	6360	6,360	1,20	5,3000															
		3	6480	6,480	1,20	5,4000	5,4286	38,00			9,05	55,21	55,07	55,33	3,173	1,65	1,80	1,75	1,733	58,316	
		4	7120	7,120	1,20	5,9333															
		5	6710	6,710	1,20	5,5917															
		6	6820	6,820	1,50	4,5467															

Thompson Kanan :

$$B = 0,800 \text{ m}$$

$$D = 0,165 \text{ m}$$

$$IPG = 19,810 \text{ cm}$$

Kesalahan Relatif Debit Tompson 3

No	Bacaan	Tebal Air	Tebal Air	K	$Q_{Thompson}$	Q_{takar}	Kesalahan	$Q_{Thompson}$	$K_2 =$	
	h	h			(Q_{hitung})	(Q_{aktual})	Relatif	Kalibrasi	Q_{tak}/Q_{thomp}	
	(cm)	(cm)	(m)		(lt/det)	(lt/det)	(%)	(lt/det)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
1	9,050	10,760	0,108	1,391	5,283	5,4286	2,683	5,284		
2	9,970	9,840	0,098	1,394	4,235	4,3458	2,558	4,236		
3	10,180	9,630	0,096	1,395	4,015	3,9812	0,841	4,016		
4	11,180	8,630	0,086	1,400	3,062	3,1370	2,380	3,063		
5	12,550	7,260	0,073	1,408	2,000	1,9823	0,905	2,001		
6	14,010	5,800	0,058	1,423	1,153	1,0545	9,302	1,153		
7	15,300	4,510	0,045	1,443	0,623	0,6612	5,731	0,623		
8	12,600	7,210	0,072	1,409	1,967	1,9808	0,719	1,967		
9	14,520	5,290	0,053	1,430	0,920	0,9204	0,029	0,920	1,000	
10	16,640	3,170	0,032	1,481	0,265	0,2591	2,295	0,265		
11	19,120	0,690	0,007	1,937	0,008	0,0059	28,834	0,008		
Kesalahan Relatif Rata-Rata							5,116			

Keterangan Tabel :

(1) = Nomor urut

(2) = Pembacaan data pengukuran Thompson

(3) = IPG - Bacaan (cm)

(4) = IPG - Bacaan (m)

(5) = $1,3533+(0,004/h)+(0,0167*(8,4+(12/D 0,5)))x(((h/B)-(0,09))^2)$

(6) = $(k.h 2,5)/0,001$

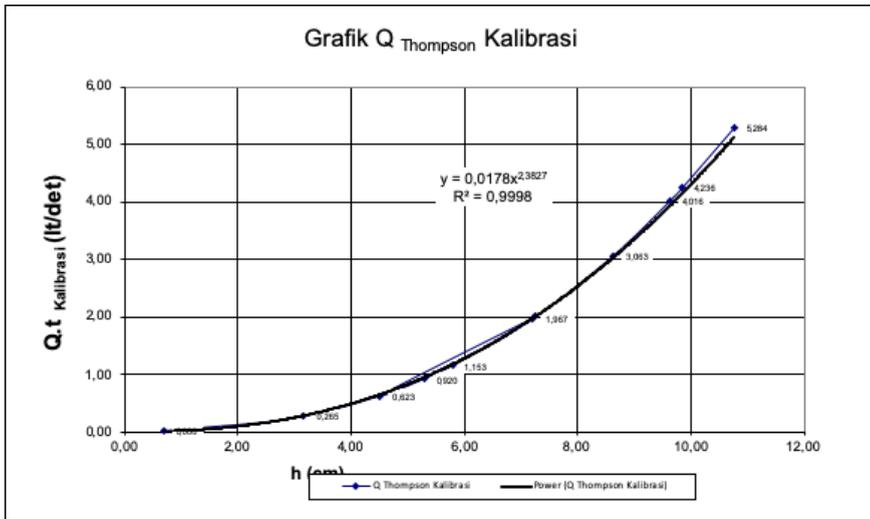
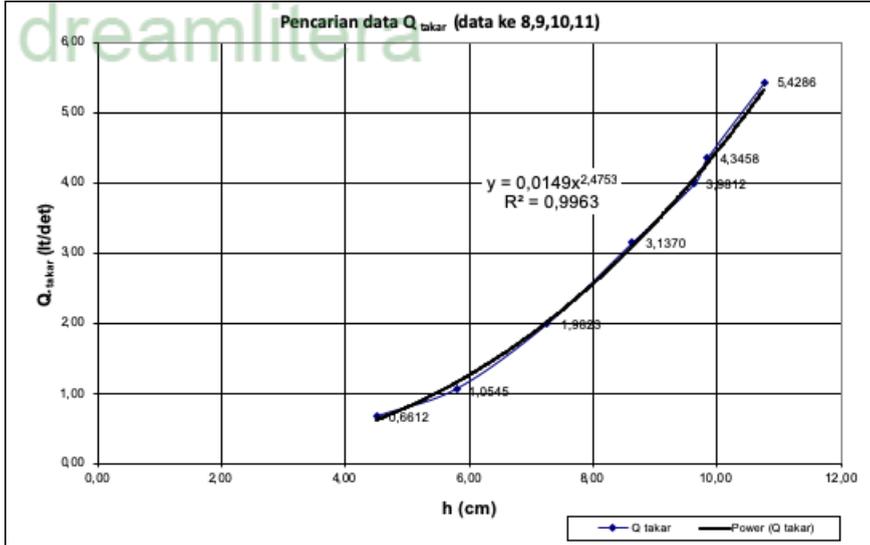
(7) = Debit pengukuran secara manual (debit aktual)

(8) = Nilai absolut $((Q_{Takar} - Q_{Thompson})/ Q_{Takar}) \times 100\%$

(9) = (10) x $Q_{Thompson}$

(10) = $Q_{takar}/Q_{thompson}$

GRAFIK THOMPSON 3 (Kanan)



Perhitungan Q takar = k₂ Q rechbox Pada saluran 1

b = 0,955 m

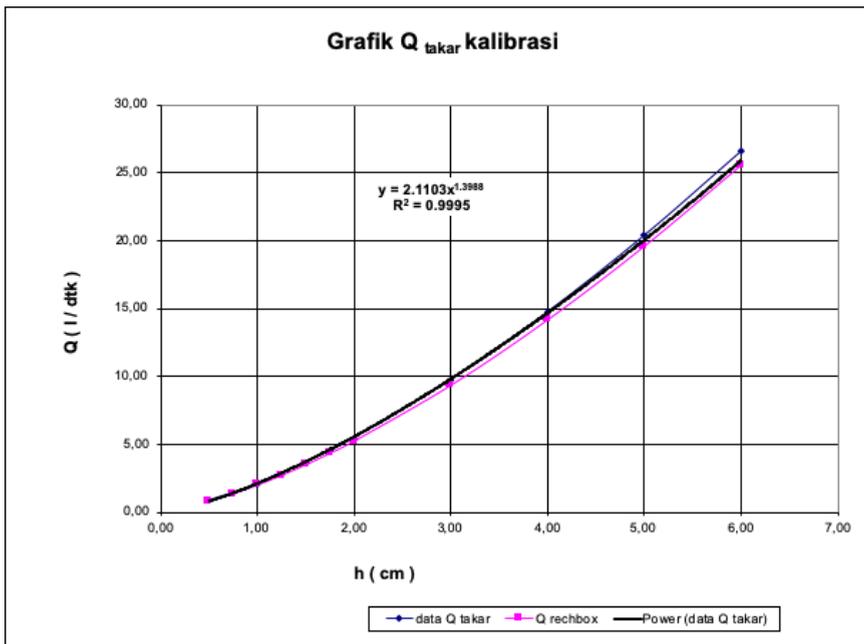
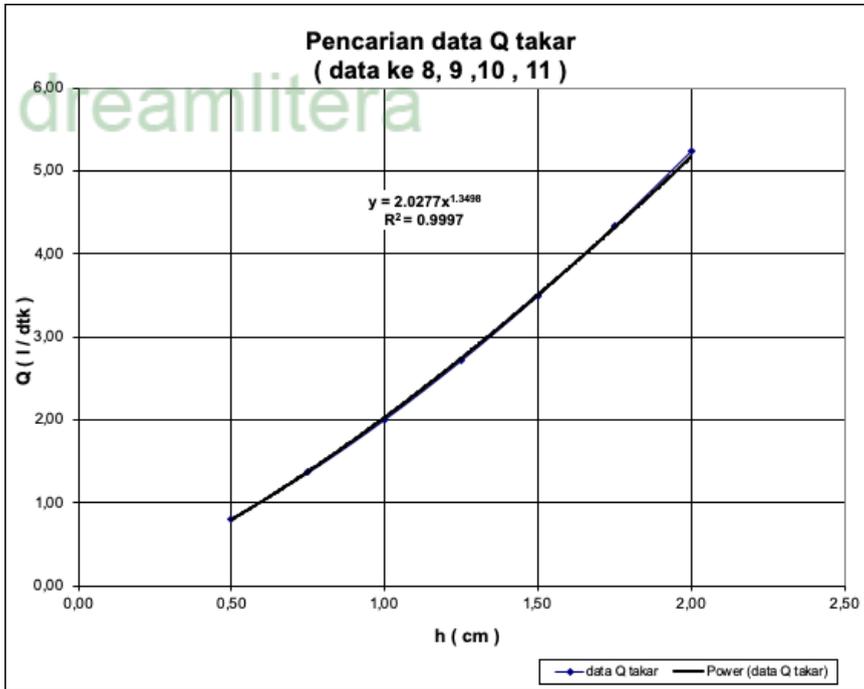
B = 2,630 m

D = 2,275 m

No	h (cm)	h (m)	k	Q takar saluran 1 (l/dtk)	Q Rechbox (l/dtk)	Kesalahan Relatif (k ₁)	Q takar kalibrasi (l/dtk)	k ₂ = Q _{ak} /Q _{rech}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	0,50	0,005	2,396	0,6216	0,80902	30,1505	0,84216	
2	0,75	0,008	2,196	1,1050	1,36220	23,2756	1,41800	
3	1,00	0,010	2,095	2,1188	2,00068	5,5749	2,08265	
4	1,25	0,013	2,034	3,0208	2,71407	10,1539	2,82527	1,0410
5	1,50	0,015	1,992	4,2348	3,49495	17,4708	3,63814	
6	1,75	0,018	1,962	4,5154	4,33769	3,9357	4,51540	
7	2,00	0,020	1,939	5,5356	5,23784	5,3791	5,45243	
8	3,00	0,030	1,884	8,9335	9,34799	4,6397	9,73097	
9	4,00	0,040	1,854	13,1724	14,16595	7,5429	14,74633	
10	5,00	0,050	1,835	17,8022	19,59408	10,0656	20,39684	
11	6,00	0,060	1,822	22,7694	25,56586	12,2814	26,61328	
Kesalahan Relatif Rata-Rata						11,8609		

Keterangan Tabel:

- (1) = Nomor urut
- (2) = Tebal air (cm)
- (3) = Tebal air (m)
- (4) = $1,785 + (2,95 \times 10^{-3} / h) + (0,2367) \times (h/D) - (0,42833) \times (B-b)h/DB + 0,034 \times (B/D) + 0,5$
- (5) = Debit pengukuran secara manual (debit aktual)
- (6) = $k b h^{3/2}$
- (7) = Nilai absolut $((Q_{Rechbox} - Q_{Takar}) / Q_{Takar}) \times 100 \%$
- (8) = (9) x Q Rechbox
- (9) = Q Takar/ Q Rechbox



Perhitungan Interpolasi Debit Hulu (Qrechbox)

1 Debit hulu 5 lt/det							
Q (lt/det)	h (cm)						
5,5976	2		$(5 - 5,5976) / (4,6356 - 5,5976)$	=	$x - 2/1,75-2$		
5,00	x		0,62121	=	$x-2/ -0,25$		
4,6356	1,75		X-2	=	-0,155		
			$X = 2 - 0,155$	=	1,845		
2 Debit hulu 10 lt/det							
Q (lt/det)	h (cm)						
15,139	4		$(10 - 15,139) / (9,9901 - 15,139)$	=	$x - 4/3-4$		
10,00	x		0,99808	=	$x-4/-1$		
9,9901	3		X-4	=	-0,998		
			$X = 4 - 0,998$	=	3,002		
3 Debit hulu 15 lt/det							
Q (lt/det)	h (cm)						
15,139	4		$(15 - 15,139) / (9,9901 - 15,139)$	=	$x - 4/3-4$		
15,00	x		0,02700	=	$x-4/-1$		
9,9901	3		X-4	=	-0,027		
			$X = 4 - 0,027$	=	3,973		
4 Debit hulu 20 lt/det							
Q (lt/det)	h (cm)						
20,9399	5		$(20 - 20,9399) / (15,139 - 20,9399)$	=	$x - 5/4-5$		
20,00	x		0,02700	=	$x-5/-1$		
15,139	4		X-5	=	-0,027		
			$X = 5 - 0,027$	=	4,973		
5 Debit hulu 25 lt/det							
Q (lt/det)	h (cm)						
27,3219	6		$(25 - 27,3219) / (20,9399 - 27,3219)$	=	$x - 6/5-6$		
25,00	x		0,36382	=	$x-6/-1$		
20,9399	5		X-6	=	-0,364		
			$X = 6 - 0,364$	=	5,636		
6 Debit hulu 30 lt/det							
Q (lt/det)	h (cm)						
34,2324	7		$(30 - 34,2324) / (27,3219 - 34,2324)$	=	$x - 7/6-7$		
30,00	x		0,61246	=	$x-7/-1$		
27,3219	6		X-7	=	-0,612		
			$X = 7 - 0,612$	=	6,388		
7 Debit hulu 35 lt/det							
Q (lt/det)	h (cm)						
41,6309	8		$(35 - 41,6309) / (34,2324 - 41,6309)$	=	$x - 8/7-8$		
35,00	x		0,89625	=	$x-8/-1$		
34,2324	7		X-8	=	-0,896		
			$X = 8 - 0,896$	=	7,104		
8 Debit hulu 40 lt/det							
Q (lt/det)	h (cm)						
41,6309	8		$(40 - 41,6309) / (34,2324 - 41,6309)$	=	$x - 8/7-8$		
40,00	x		0,22044	=	$x-8/-1$		
34,2324	7		X-8	=	-0,220		
			$X = 8 - 0,220$	=	7,780		

Perhitungan Q takar = k2 Q rechbox Pada Saluran 2

$b = 0,955 \text{ m}$

$B = 2,630 \text{ m}$

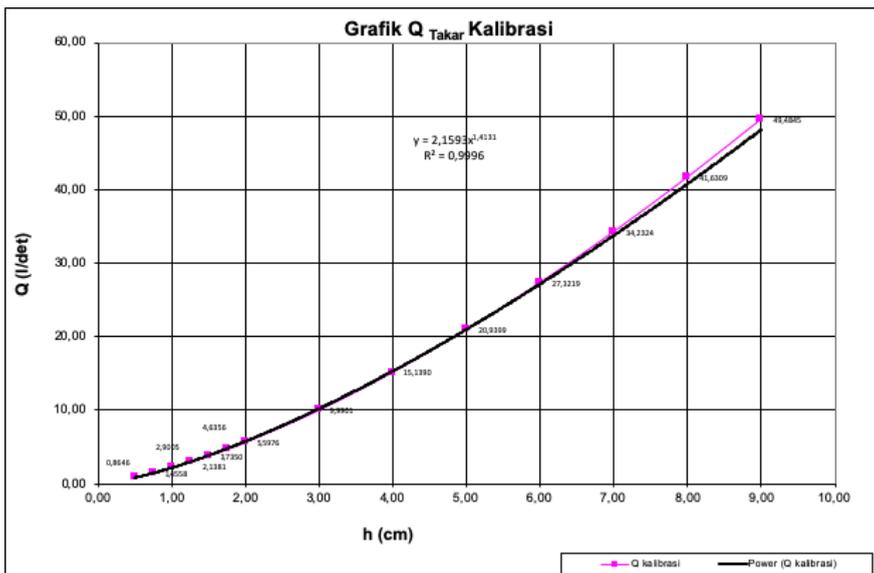
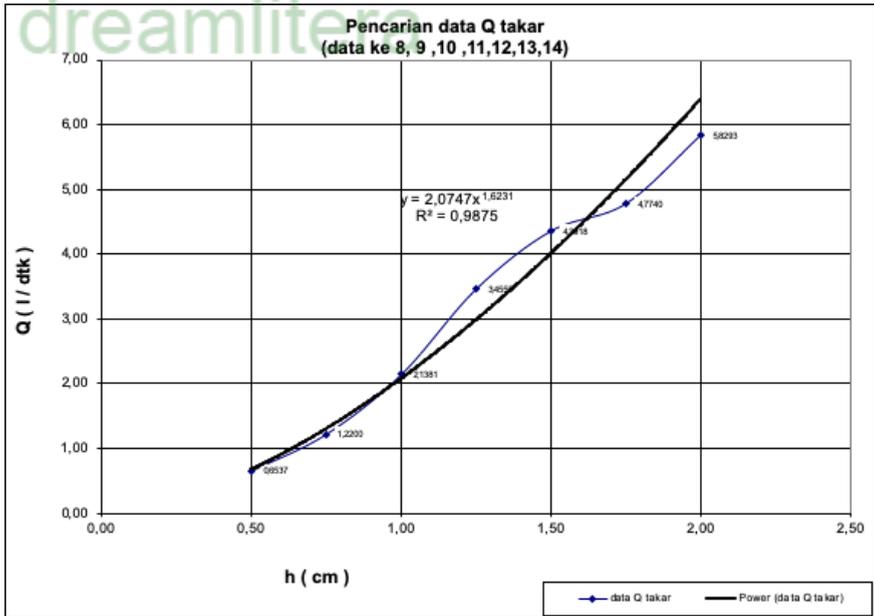
$D = 2,275 \text{ m}$

No	h (cm)	h (m)	k	Q takar saluran 2 (l/dtk)	Q Rechbox (l/dtk)	Kesalahan Relatif (k ₁)	Q takar kalibrasi (l/dtk)	k ₂ = Q _{takar} /Q _{rech}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	0,50	0,005	2,396	0,6537	0,80902	23,7595	0,8646	
2	0,75	0,008	2,196	1,2200	1,36220	11,6554	1,4558	
3	1,00	0,010	2,095	2,1381	2,00068	6,4272	2,1381	
4	1,25	0,013	2,034	3,4555	2,71407	21,4565	2,9005	1,0687
5	1,50	0,015	1,992	4,3518	3,49495	19,6896	3,7350	
6	1,75	0,018	1,962	4,7740	4,33769	9,1394	4,6356	
7	2,00	0,020	1,939	5,8293	5,23784	10,1464	5,5976	
8	3,00	0,030	1,884	12,3416	9,34799	24,2561	9,9901	
9	4,00	0,040	1,854	19,6861	14,16595	28,0407	15,1390	
10	5,00	0,050	1,835	28,2783	19,59408	30,7099	20,9399	
11	6,00	0,060	1,822	38,0165	25,56586	32,7507	27,3219	
12	7,00	0,070	1,811	48,8241	32,03225	34,3925	34,2324	
13	8,00	0,080	1,803	60,6402	38,95519	35,7601	41,6309	
14	9,00	0,090	1,796	73,4153	46,30402	36,9286	49,4845	
Kesalahan Relatif Rata-Rata						23,2223		

Keterangan Tabel :

- (1) = Nomor urut
- (2) = Tebal air (cm)
- (3) = Tebal air (m)
- (4) = $1,785 + (2,95 \times 10^{-3}/h) + (0,2367) \times (h/D) - (0,42833) \times (B-b)h/DB^{0,5} + 0,034 \times (B/D)^{0,5}$
- (5) = Debit pengukuran secara manual (debit aktual)
- (6) = $k b h^{3/2}$
- (7) = Nilai absolut $((Q_{Rechbox} - Q_{Takar}) / Q_{Takar}) \times 100 \%$
- (8) = (9) x Q Rechbox
- (9) = Q Takar/ Q Rechbox

GRAFIK RECHBOX PADA SALURAN 2 (Utama)



Perhitungan Q takar = k₂ Q rechbox Pada saluran 3

b = 0,955 m

B = 2,63 m

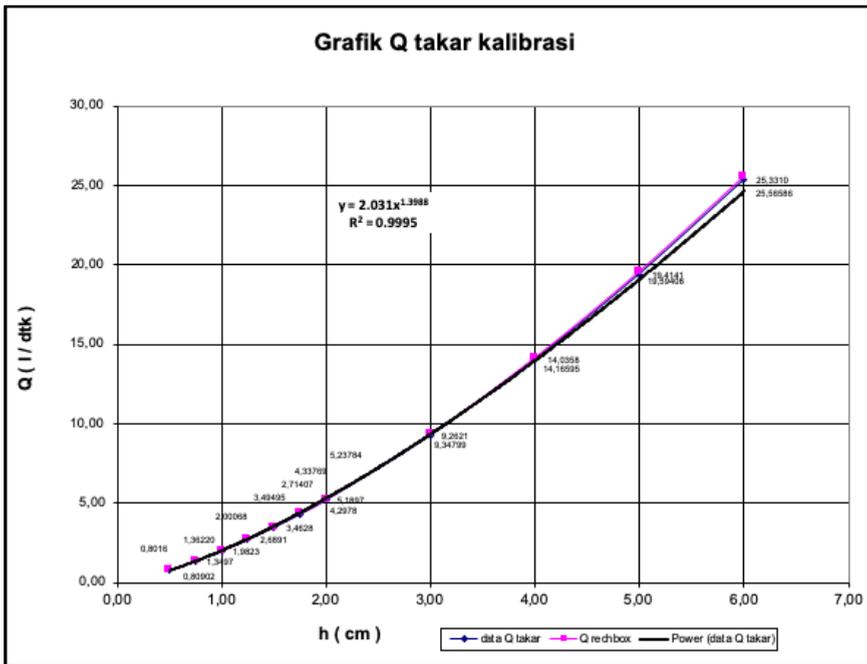
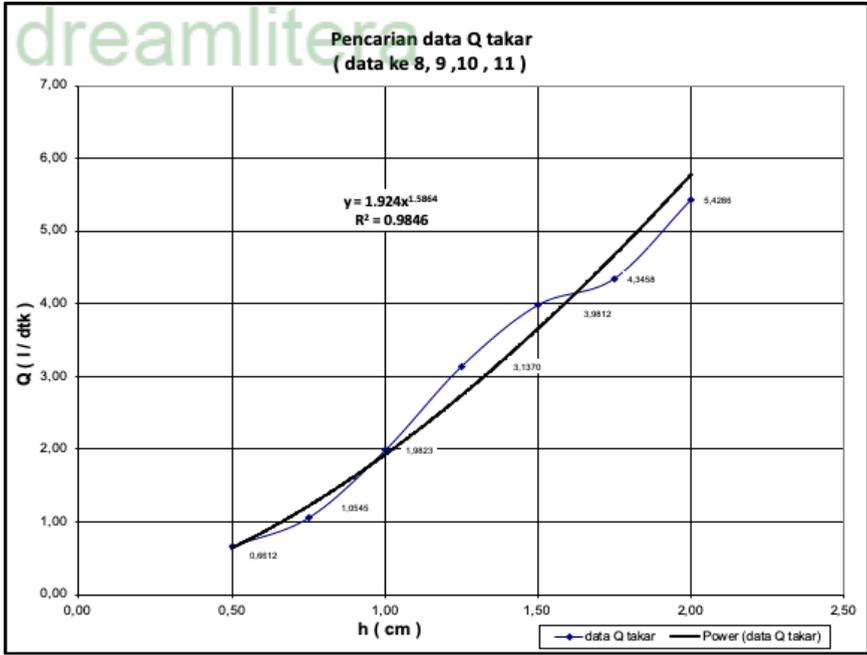
D = 2,275 m

No	h (cm)	h (m)	k	Q takar saluran 3 (l/dtk)	Q Rechbox (l/dtk)	Kesalahan Relatif (k ₁)	Q takar kalibrasi (l/dtk)	k ₂ = Q _{takar} /Q _{rech}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	0,50	0,005	2,396	0,6612	0,80902	22,3557	0,8016	
2	0,75	0,008	2,196	1,0545	1,36220	29,1793	1,3497	
3	1,00	0,010	2,095	1,9823	2,00068	0,9272	1,9823	
4	1,25	0,013	2,034	3,1370	2,71407	13,4820	2,6891	0,9908
5	1,50	0,015	1,992	3,9812	3,49495	12,2137	3,4628	
6	1,75	0,018	1,962	4,3458	4,33769	0,1867	4,2978	
7	2,00	0,020	1,939	5,4286	5,23784	3,5141	5,1897	
8	3,00	0,030	1,884	10,9929	9,34799	14,9630	9,2621	
9	4,00	0,040	1,854	17,3505	14,16595	18,3544	14,0358	
10	5,00	0,050	1,835	24,7202	19,59408	20,7364	19,4141	
11	6,00	0,060	1,822	33,0114	25,56586	22,5545	25,3310	
Kesalahan Relatif Rata-Rata						14,4061		

Keterangan Tabel :

- (1) = Nomor urut
- (2) = Tebal air (cm)
- (3) = Tebal air (m)
- (4) = $1,785 + (2,95 \times 10^{-3}/h) + (0,2367) \times (h/D) - (0,42833) \times (B-b)h/DB + 0,034 \times (B/D)0,5$
- (5) = Debit pengukuran secara manual (debit aktual)
- (6) = $k b h^{3/2}$
- (7) = Nilai absolut $((Q_{Rechbox} - Q_{Takar}) / Q_{Takar}) \times 100 \%$
- (8) = (9) x Q Rechbox
- (9) = Q Takar/ Q Rechbox

GRAFIK RECHBOX PADA SALURAN 3



LAMPIRAN 5. Data dan Perhitungan Saluran Tunggal dengan a = 8 cm
Data pengukuran tinggi muka air aliran bebas pada saluran utama
dengan bukaan 8 cm
Saluran kanan dan kiri ditutup penuh

L amb = 30cm L sal = 515cm
 IPG hulu = 39,00cm b amb = 30cm
 b sal = 30cm Z amb = 20,26cm
 B sal = 60cm

No	Debit	Bukaan pintu	Bacaan Hulu	Bacaan Hilir	h Muka Air	Section/ Jarak											
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
(lt/det)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(40)	(10)	(7,5)	(7,5)	(7,5)	(7,5)	(7,5)	(7,5)	(15)	(15)	(15)	
			39	27	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
1	15	R	8	R	43,94	37,50	Kiri	65,43	65,23	45,10	44,01	43,02	36,02	36,16	29,37	36,36	39,22
							As	65,20	65,14	45,08	43,26	43,12	36,15	36,14	29,52	36,23	39,37
							Kanan	65,20	65,17	45,08	43,85	43,25	36,10	36,21	29,47	36,40	39,69
2	20	R	8	R	49,13	40,58	Kiri	82,40	82,24	44,57	43,75	43,18	40,96	38,92	32,09	39,14	36,85
							As	82,60	82,53	44,63	43,95	44,00	41,02	38,97	32,27	39,18	36,75
							Kanan	82,60	82,43	44,39	43,64	44,06	40,98	38,94	32,14	39,10	36,56
3	25	R	8	R	57,58	42,91	Kiri	104,00	103,98	44,49	43,35	43,91	41,32	39,28	29,05	37,94	39,27
							As	103,80	103,40	44,43	44,55	43,78	43,05	39,87	29,05	37,78	39,29
							Kanan	103,90	103,87	44,53	43,30	43,88	40,20	39,42	29,39	37,82	39,39

Data pengukuran kecepatan aliran bebas pada saluran utama
dengan bukaan 8 cm
Saluran kanan dan kiri ditutup penuh.

b sal = 30cm L amb = 30cm
 b amb = 30cm b amb = 30cm
 Z = 20,26cm

No	Debit	Bukaan pintu	Bacaan hulu	Bacaan hilir	Kecep. (v)	Section/ Jarak															
						2			3			5			8			10			
(lt/det)	(cm)	(cm)	IPG = 39 (cm)	IPG = 27 (cm)	(cm)	Kr	As	Kn	Kr	As	Kn	Kr	As	Kn	Kr	As	Kn	Kr	As	Kn	
			(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	15	8	43,94	37,50	Atas	0,18	0,10	0,12	3,50	2,95	3,30	6,40	6,35	6,40	0,10	0,20	0,30	0,10	0,10	0,15	
					Tengah	0,20	0,20	0,10	3,60	3,10	3,35	7,15	6,95	6,95	0,55	0,45	0,40	0,30	0,10	0,30	
					Bawah	0,12	0,38	0,39	3,65	3,20	3,40	8,10	8,15	7,85	6,10	6,10	5,85	0,70	0,75	1,00	
2	20	8	46,51	40,58	Atas	0,12	0,10	0,10	6,95	7,00	7,40	8,85	8,40	8,20	0,20	0,55	1,35	0,50	0,35	0,45	
					Tengah	0,13	0,11	0,15	6,95	6,95	6,60	10,55	10,45	10,30	5,30	4,85	4,60	0,20	1,20	0,85	
					Bawah	0,10	0,15	0,13	6,50	6,70	6,80	10,20	10,45	10,80	0,45	1,00	0,45	1,20	1,30	1,60	
3	25	8	48,61	42,91	Atas	0,07	0,10	0,10	11,75	11,70	11,65	13,80	14,45	14,80	2,50	0,70	3,20	3,00	0,20	0,30	
					Tengah	0,08	0,05	0,10	11,75	11,75	11,80	14,80	14,60	14,70	8,30	7,40	7,20	0,40	0,20	0,30	
					Bawah	0,07	0,10	0,10	12,20	11,00	11,20	14,80	15,10	14,90	5,20	5,60	3,50	1,60	1,90	2,80	

LAMPIRAN 6 : Data dan Perhitungan Saluran Utama dengan Aliran Modular

Data pengukuran tinggi muka air aliran Modular pada model saluran utama dengan pintu

Saluran kanan dan kiri dibuka dengan menggunakan pipa
Jum'at 09/03/18 jam 10,30 WIB

$$\begin{aligned}
 b \text{ sal} &= 30 \text{ cm} & b \text{ amb} &= 30 \text{ cm} \\
 q \text{ pipa kanan} &= 10,16 \text{ cm (4")} & h \text{ amb} &= 20,26 \text{ cm} \\
 q \text{ pipa kiri} &= 7,62 \text{ cm (3")} & L \text{ sal} &= \text{ cm}
 \end{aligned}$$

No	Debit	h	Bacaa as box	Bacaa Thompson Hilir	Bukaan Pintu	h Muka Air	Section/ Jarak												
							0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
(lit/det)	(cm)	(cm)	IPG = 39,01 (cm)	IPG = 27,00 (cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(40) (cm)	(10) (cm)	(7,5) (cm)	(7,5) (cm)	(7,5) (cm)	(7,5) (cm)	(7,5) (cm)	(15) (cm)	(15) (cm)	(15) (cm)		
1	10,00	R	3,002	R	39,95	I = 26,99 II = 38,74 III = 12,81	4	Kiri	-	44,85	44,63	42,09	42,39	40,91	29,59	30,33	30,45	31,32	31,28
								As	45,06	44,82	44,66	42,83	41,70	40,40	30,40	30,38	30,55	31,15	31,39
								Kanan	-	44,91	44,71	41,79	42,09	41,00	30,04	30,53	30,43	31,09	31,38
2	15,00	R	3,973	R	39,95	I = 25,28 II = 40,03 III = 10,99	4	Kiri	-	47,25	47,26	41,94	41,61	40,99	35,60	32,62	32,21	32,96	33,34
								As	47,41	47,22	47,20	42,26	42,92	41,45	35,24	32,18	32,78	32,72	33,17
								Kanan	-	47,22	47,20	41,50	41,95	41,00	35,42	32,35	32,16	32,97	33,42
3	20,00	R	4,838	R	39,95	I = 23,98 II = 41,04 III = 9,28	4	Kiri	-	49,77	49,62	42,48	41,24	41,06	36,98	34,50	34,35	34,61	35,31
								As	49,84	49,73	49,60	42,23	42,21	41,97	37,82	34,55	34,22	34,73	35,18
								Kanan	-	49,80	49,61	42,41	41,11	40,62	36,02	34,48	34,35	34,63	35,13
4	25,00	R	5,636	R	39,95	I = 22,50 II = 41,81 III = 7,83	4	Kiri	-	51,93	51,84	42,50	41,54	40,41	37,01	34,88	35,14	35,61	35,56
								As	52,01	51,87	52,02	42,31	42,62	42,03	37,82	35,37	35,51	35,96	35,88
								Kanan	-	51,90	51,93	43,00	41,64	40,35	35,96	35,65	35,12	35,82	35,85
5	30,00	R	6,400	R	39,95	I = 21,61 II = 42,22 III = 6,16	4	Kiri	-	54,53	54,64	41,91	41,63	41,38	37,22	34,62	34,64	34,98	36,27
								As	54,81	54,74	54,80	41,92	41,81	41,31	37,81	34,95	34,78	35,19	35,71
								Kanan	-	54,63	54,73	41,90	41,62	41,07	38,25	35,13	34,73	34,83	36,00
6	40,00	R	7,780	R	39,95	I = 20,03 II = 43,85 III = 4,36	4	Kiri	-	62,80	62,89	41,99	41,73	41,08	39,16	36,69	37,17	37,11	37,72
								As	62,81	62,80	62,84	41,93	41,81	41,61	39,28	36,61	36,94	36,53	37,88
								Kanan	-	62,85	62,83	41,83	41,93	41,10	39,00	36,78	36,73	36,43	37,71

Data pengukuran kecepatan aliran Modular pada model saluran utama dengan pintu

Saluran kanan dan kiri dibuka dengan menggunakan pipa
Jum'at 09/03/18 jam 08.00 s/d 10.30 WIB

$$\begin{aligned}
 b \text{ sal} &= 30 \text{ cm} & q \text{ pipa kanan} &= 10,16 \text{ cm (4")} \\
 b \text{ amb} &= 30 \text{ cm} & q \text{ pipa kiri} &= 7,62 \text{ cm (3")} \\
 h \text{ amb} &= 20,26 \text{ cm} & L \text{ pipa} &= 100 \text{ cm} \\
 L \text{ sal} &= \text{ cm}
 \end{aligned}$$

No	Debit	h	Bacam as box	Bacam Thompson	Bukaan Pintu	Kecep. (v) aliran air (cm)	Section/ Jarak												
							2			3			8			10			
							Kr (cm)	As (cm)	Kn (cm)	Kr (cm)	As (cm)	Kn (cm)	Kr (cm)	As (cm)	Kn (cm)	Kr (cm)	As (cm)	Kn (cm)	
1	10	3,002	39,95	I = 26,99 II = 38,74 III = 12,81	4	Atas Tengah Bawah	0,60 0,90 0,85	0,50 0,90 1,10	0,70 2,00 1,20	2,50 2,40 2,10	2,60 2,60 2,80	2,70 2,60 2,80	0,00 0,20 1,20	0,20 0,15 2,20	0,00 0,30 1,10	0,25 0,50 0,85	0,25 0,50 0,60	0,40 0,40 0,60	
2	15	3,973	39,95	I = 25,28 II = 40,03 III = 10,99	4	Atas Tengah Bawah	1,20 1,40 1,20	0,90 1,50 1,70	0,65 1,50 1,80	4,90 4,90 3,00	4,90 5,15 2,90	4,90 5,30 5,20	4,90 0,90 5,40	-0,20 0,50 4,50	0,00 0,60 4,20	0,50 0,30 0,40	-0,10 0,30 0,40	0,10 0,20 0,60	0,40 1,00 1,40
3	20	4,838	39,95	I = 23,98 II = 41,04 III = 9,28	4	Atas Tengah Bawah	1,40 1,60 3,50	1,20 1,60 2,90	1,30 2,20 2,80	7,15 7,10 6,00	7,00 7,00 6,60	7,20 6,90 6,40	0,30 0,70 3,80	0,20 0,30 4,30	0,20 3,10 3,70	0,15 0,30 0,30	0,20 0,20 0,20	0,25 0,20 0,60	0,50 1,00 0,60
4	25	5,636	39,95	I = 22,50 II = 41,81 III = 7,83	4	Atas Tengah Bawah	0,80 2,20 3,10	0,60 2,50 3,10	0,40 2,70 3,10	8,90 9,10 7,50	9,20 8,80 8,30	9,10 9,10 8,80	0,70 1,50 5,30	0,40 2,20 8,50	0,40 3,30 6,20	0,20 0,10 0,70	0,20 0,15 0,30	0,60 0,35 0,40	0,60 1,00 0,40
5	30	6,400	39,95	I = 21,61 II = 42,22 III = 6,16	4	Atas Tengah Bawah	2,60 3,50 3,90	2,50 3,30 4,10	2,60 3,50 4,10	12,80 12,40 10,70	12,60 12,40 10,60	12,80 12,40 11,50	2,70 5,70 8,60	1,90 4,30 6,20	1,20 5,80 8,30	1,20 2,10 4,40	0,70 2,10 4,50	0,50 3,10 4,30	0,50 3,10 4,30
6	40	7,780	39,95	I = 20,03 II = 43,85 III = 4,36	4	Atas Tengah Bawah	4,10 4,40 6,10	4,20 5,80 6,30	4,20 6,40 6,00	22,30 19,90 20,50	22,30 20,20 19,50	22,50 19,60 19,40	9,20 1,30 1,70	10,50 1,30 0,90	9,60 1,20 1,20	0,90 4,10 5,00	1,00 3,00 4,50	2,10 3,60 5,10	2,10 3,60 5,10

Data pengukuran tinggi muka air aliran Modular pada model saluran utama dengan pintu Saluran kanan dan kiri dibuka dengan menggunakan pipa Jum'at 09/03/18 jam 13.30 s/d 17.00 WIB

- b sal = 30 cm
 b amb = 30 cm q pipa kanan = 10,16 cm (4")
 h amb = 20,26 cm q pipa kiri = 7,62 cm (3")
 L sal = cm

No	Debit	h	Bacam as box	Bacam Thompson	Bukaan Pintu	h Muka Air	Section/ Jarak											
							0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
							(cm)	(40)	(10)	(7,5)	(7,5)	(7,5)	(7,5)	(15)	(15)	(15)		
1	25,00	R	5,636	R	39,95	I = 24,18 II = 43,61 III = 9,9	8	Kiri As Kanan	- 49,31 49,56	48,80 49,28 49,02	45,16 45,38 45,09	44,23 43,89 43,81	43,20 43,56 43,81	38,72 37,96 36,62	36,41 37,96 36,62	36,52 36,91 36,91	37,01 36,49 37,02	37,91 37,65 37,75
2	30,00	R	6,400	R	39,95	I = 23,02 II = 44,70 III = 8,68	8	Kiri As Kanan	- 51,04 51,09	50,91 50,93 50,93	44,72 45,03 45,03	43,89 45,33 44,13	43,56 44,13 40,25	40,61 38,04 38,04	37,85 38,23 38,23	37,85 38,32 38,68	36,97 38,32 38,68	37,02 39,52 39,36
3	35,00	R	7,104	R	39,95	I = 22,31 II = 45,52 III = 7,37	8	Kiri As Kanan	- 52,38 52,69	52,32 52,51 52,40	45,09 44,91 44,91	44,31 44,70 44,32	43,61 40,78 40,78	37,56 37,98 37,98	39,44 39,44 39,44	39,23 39,81 39,22	39,62 40,23 39,60	39,96 40,23 40,03
4	40,00	R	7,780	R	39,95	I = 21,81 II = 46,29 III = 6,50	8	Kiri As Kanan	- 54,07 54,36	53,92 54,02 54,03	45,09 44,90 44,96	44,31 44,68 44,96	43,08 44,60 43,38	41,43 39,42 41,42	39,34 40,38 39,29	40,26 40,88 40,35	41,49 41,26 40,71	41,45 41,26 41,35

Data pengukuran kecepatan aliran Modular pada model saluran utama dengan pintu Saluran kanan dan kiri dibuka dengan menggunakan pipa Jum'at 09/03/18 jam 13.30 s/d 17.00 WIB

b sal = 30 cm q pipa kanan = 10,16 cm (4")
 b amb = 30 cm q pipa kiri = 7,62 cm (3")
 h amb = 20,26 cm

No	Debit	h	Bacaan as box IPG = 39,01 (cm)	Bacaan Thompson Hilir IPG = 27,00 (cm)	Bukaan Pintu (cm)	Kecep. (v) aliran air (cm)	Section/ Jarak											
							2			3			8			10		
							Kr (cm)	As (cm)	Kn (cm)	Kr (cm)	As (cm)	Kn (cm)	Kr (cm)	As (cm)	Kn (cm)	Kr (cm)	As (cm)	Kn (cm)
1	25	5,636	39,95	I= 24,18 II= 43,61 III= 9,9	8	Atas	1,90	1,80	1,70	4,50	4,20	4,80	0,20	0,10	0,00	0,20	0,00	-0,20
						Tengah	1,80	1,60	2,10	4,60	4,60	4,70	0,30	0,30	0,90	0,00	0,70	1,30
						Bawah	3,10	2,60	2,65	4,20	4,40	4,50	6,70	6,60	6,80	1,80	2,40	2,60
2	30	6,400	39,95	I= 23,02 II= 44,70 III= 8,68	8	Atas	1,20	1,00	1,20	5,10	5,20	5,30	0,50	0,30	0,10	0,10	0,30	0,60
						Tengah	1,90	2,00	2,30	5,20	5,10	5,10	0,70	0,70	2,20	1,30	1,30	1,00
						Bawah	4,10	4,00	4,20	5,10	5,10	5,15	4,20	4,80	4,30	4,50	3,30	3,40
3	35	7,104	39,95	I= 22,31 II= 45,52 III= 7,37	8	Atas	2,40	1,40	1,00	7,30	7,20	7,50	0,50	0,70	1,00	0,10	0,20	0,25
						Tengah	3,00	3,20	3,70	7,60	7,50	7,60	6,50	3,00	3,20	0,60	0,40	0,30
						Bawah	5,50	5,40	5,20	7,50	7,30	6,60	6,40	4,70	0,70	3,00	3,70	3,80
4	40	7,780	39,95	I= 21,81 II= 46,29 III= 6,50	8	Atas	2,20	1,90	1,80	6,30	6,50	6,50	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,30
						Tengah	3,00	3,30	3,60	6,40	6,50	6,50	6,90	6,20	3,50	1,60	0,70	0,50
						Bawah	6,80	6,30	6,10	6,50	6,60	6,60	3,00	3,20	1,30	3,30	3,30	3,70

Data pengukuran tinggi muka air aliran modular pada pipa Kiri Ketiga saluran dibuka (frontal dengan pintu bukaan 8 cm)

b sal = 30cm
 b amb = 30cm Diameter pipa = 3" = 0,076m
 h amb = 20,26cm
 L sal = cm

No	Debit	h	Bacaan as box IPG = 39,01 (cm)	Bacaan Thompson Hilir IPG = 27,00 (cm)	Bukaan Pintu (cm)	Tinggi Muka Air (h)					
						1	2	3	Outlet		
	(lt/det)	(cm)			(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		
1	25,00	R	5,636	R	39,95	I= 24,18 II= 43,61 III= 9,9	8	8,30	7,60	7,40	4,70
2	30,00	R		R	39,95	I= 23,02 II= 44,70 III= 8,68	8	8,30	7,10	7,50	7,40
3	35,00	R	7,104	R	39,95	I= 22,31 II= 45,52 III= 7,37	8	7,70	6,40	7,20	8,50
4	40,00	R	7,780	R	39,95	I= 21,81 II= 46,29 III= 6,50	8	8,10	5,80	6,70	8,50 penuh

Data pengukuran tinggi muka air aliran modular pada pipa Kanan

Ketiga saluran dibuka (frontal dengan pintu bukaan 8 cm)

b sal = 30 cm

b amb = 30 cm Diameter pipa = 3 " = 0,076 m

h amb = 20,26 cm

L sal = cm

No	Debit		h		Bacaan	Bacaan	Bukaan Pintu	Tinggi Muka Air (h)			
					as box IPG = 39,01	Thompson Hilir IPG = 27,00		1	2	3	Outlet
	(lt/det)		(cm)		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	25,00	R	5,636	R	39,95	I= 24,18 II= 43,61 III= 9,9	8	7,60			5,80
2	30,00	R		R	39,95	I= 23,02 II= 44,70 III= 8,68	8	8,10			6,50
3	35,00	R	7,104	R	39,95	I= 22,31 II= 45,52 III= 7,37	8	7,20			6,80
4	40,00	R	7,780	R	39,95	I= 21,81 II= 46,29 III= 6,50	8	7,50			7,80

dreamlitera