

UJI PROPORSIONALITAS DEBIT BANGUNAN BAGI TIPE NUMBAK

DISCHARGE PROPORTIONALITY TEST OF NUMBAK DIVISOR

Oleh:

Susi Hidayah¹⁾, Suhardjono¹⁾, Very Dermawan¹⁾

¹⁾Program Studi Magister Sumber Daya Air, Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur, Indonesia

Komunikasi Penulis, email: hidayahsusi@gmail.com; veryderma@gmail.com

Naskah ini diterima pada 8 Agustus 2015; revisi pada 22 Agustus 2015;
disetujui untuk dipublikasikan pada 17 September 2015

ABSTRACT

Water distribution structure is the main distribution facility and has been an important part in the operation system of irrigation networks. Numbak configuration lay the secondary water distribution structure, tertiary water tapping structure, and control structures in a parallel position, so it is suitable to be applied for the proportional system. This type of water distribution structure has been recommended in Irrigation Planning Criteria-04 (revision 2013), however, the planning information is still inadequate. The placement of sill on the proportional water distribution structure that has been tested is placed before the peer's divisor. This makes the position of the distributed flow located not in a critical condition so that the distributed flow is also not proportional. A series of physical tests to assess variations in the placement of sill by the pillars dividing position conducted on a model that has been created by the Experimental Station for Irrigation, Research Center for Water Resources, Ministry of Public Works, is the type of the proportion of 1:2:1. The test results show that the average proportion of the distribution of discharge at all the scenarios for the right channel, center, and left respectively was 0.82:2.4:0.78. Recommendations of use and placement of sill by the pillars divisor as input for the planning and building of this type are also found in this study.

Keywords: *divisor, proportional, numbak, physical model, irrigation*

ABSTRAK

Bangunan bagi merupakan sarana pendistribusian air yang utama dan menjadi bagian penting pada sistem operasi jaringan irigasi. Bentuk bangunan bagi tipe numbak meletakkan bangunan bagi sekunder, sadap tersier dan bangunan pengatur pada posisi sejajar arah aliran. Penggunaan bangunan bagi tipe numbak ini telah direkomendasikan oleh Direktorat Irigasi dan Rawa dalam Kriteria Perencanaan Irigasi 04 (revisi 2013), namun informasi untuk perencanaannya masih belum memadai. Penempatan ambang pada bangunan bagi proporsional telah diuji oleh Balai Irigasi, Pusat litbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Penempatan ambang sebelum pilar pembagi menghasilkan aliran yang terbagi sudah tidak berada pada kondisi kritis sehingga diduga aliran yang terbagi juga tidak menjadi proporsional. Rangkaian pengujian dengan mengkaji variasi penempatan ambang terhadap posisi pilar pembagi dilakukan pada model fisik yang sudah dibuat yaitu pada tipe proporsi 1:2:1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rerata proporsi pembagian debit pada semua skenario untuk saluran kanan, tengah, dan kiri masing-masing adalah 0,82:2,4:0,78. Rekomendasi penggunaan dan penempatan ambang terhadap pilar pembagi sebagai bahan masukan perencanaan bangunan bagi tipe ini juga didapatkan pada penelitian ini.

Kata kunci: *bangunan bagi, proporsional, numbak, model fisik, irigasi*

I. PENDAHULUAN

Bangunan bagi merupakan prasarana utama dan menjadi bagian penting dalam sistem operasi jaringan irigasi. Penggunaan bangunan bagi dan atau bangunan sadap di lapangan sebagian besar dilengkapi dengan pintu pengatur, sehingga diperlukan sumber daya manusia sebagai operator pada jaringan irigasi. Sebagian bangunan juga dilengkapi dengan pintu yang sekaligus sebagai pengatur dan pengukur debit aliran. Jika tidak dilengkapi dengan bangunan pengukur maka bangunan ukur dipasang di belakang bangunan bagi. Pada kondisi tertentu diperlukan bangunan bagi yang dapat membagi debit secara proporsional atau tanpa pengatur.

Bangunan bagi tipe pelimpah menyamping memiliki kelemahan yaitu kecepatan aliran air ke arah lurus lebih besar daripada kecepatan aliran air ke arah samping, sehingga jika diterapkan untuk sistem proporsional menjadi kurang akurat. Kelebihan bangunan bagi tipe ini yaitu bangunan tidak memerlukan tempat yang luas karena dapat langsung diletakkan pada saluran tersier maupun saluran sekunder yang bersangkutan. Ketidaktepatan bangunan bagi tipe pelimpah menyamping disampaikan oleh Sulastris *et al.* (2012) pada penelitian pembagian debit air dengan boks bagi (*ngerirun*) yang menggantikan sistem numbak pada sistem subak di Bali. Pembagian air dengan boks bagi menimbulkan konflik antar petani.

Bentuk bangunan bagi tipe numbak meletakkan bangunan bagi sekunder, sadap tersier dan bangunan pengatur pada posisi sejajar arah aliran, sehingga arah pelimpah alirannya searah. Bentuk seperti ini mempunyai kelebihan yaitu: (i) distribusi kecepatan aliran untuk setiap titik di mercu pelimpah adalah relatif sama, (ii) cocok diterapkan untuk sistem pembagian debit proporsional. Kelemahan bangunan bagi tipe ini adalah diperlukannya area bangunan yang lebih luas jika dibandingkan tipe pelimpah menyamping.

Bangunan bagi proporsional tipe numbak telah direkomendasikan dalam penyusunan Kriteria Perencanaan Irigasi 04 – Bangunan (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013) dengan mengacu juga pada Kraatz dan Mahajan (1975). Namun demikian informasi perencanaan hidraulik bangunan ini masih belum memadai. Balai Irigasi, Pusat litbang Sumber Daya Air (SDA), Badan litbang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), melalui kegiatan laboratoriumnya perlu melakukan pengujian dengan model fisik terhadap bangunan bagi proporsional tipe numbak ini.

Rangkaian pengujian pada model fisik dilakukan dengan mengkaji variasi penempatan bangunan

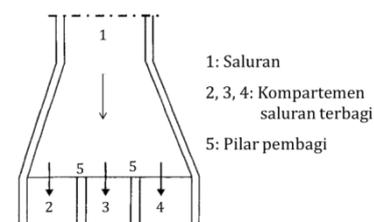
dengan ambang dan tanpa ambang pada model yang sudah ada sebelumnya yaitu pada tipe 1:2:1. Penelitian merupakan penelitian pengembangan analisis dan hanya melakukan perubahan pada jenis ambang dan penempatan pilar pembagi terhadap ambang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: (i) proporsionalitas pembagian debit pada bangunan bagi tipe numbak untuk menghasilkan debit aliran sesuai dengan proporsi yang diharapkan, (ii) mengetahui pengaruh letak dan tebal pilar terhadap akurasi pembagian debit pada bangunan bagi tipe numbak, (iii) mengetahui pengaruh bilangan Froude aliran pada posisi pilar pembagi terhadap proporsionalitas bangunan bagi tipe numbak, (iv) mengetahui seberapa besar peran ambang pada bangunan bagi proporsional tipe numbak, dan (v) mendapatkan masukan merencanakan dimensi lebar bangunan bagi pada setiap kompartemen sesuai proporsionalitasnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

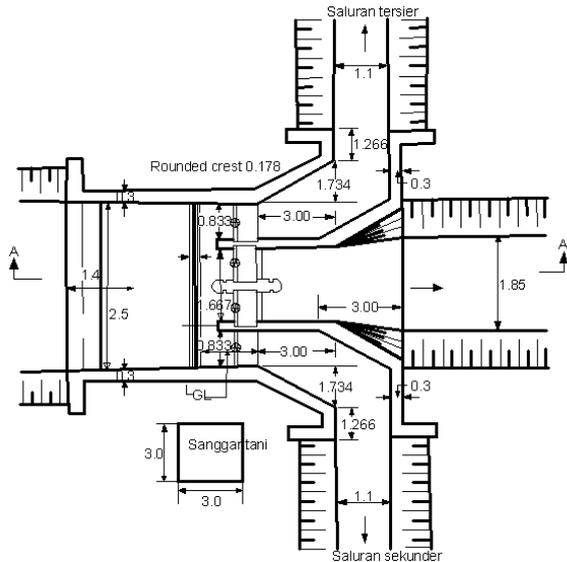
2.1. Bangunan Bagi Bentuk Numbak

Bangunan bagi tipe numbak merupakan salah satu teknologi lokal di sistem irigasi Subak di Bali. Menurut Sulastris *et al.* (2012), sistem pembagian air dengan menggunakan bangunan bagi tipe ini tidak lepas dari tradisi kehidupan sehari-hari dan merupakan suatu teknologi asli (*indigenous technology*) yang sudah ada dan menyatu dengan sosio kultural masyarakat. Bangunan bagi tipe numbak yang diterapkan di Subak adalah seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi Bangunan Bagi Tipe Numbak (Sulastris *et al.*, 2012)

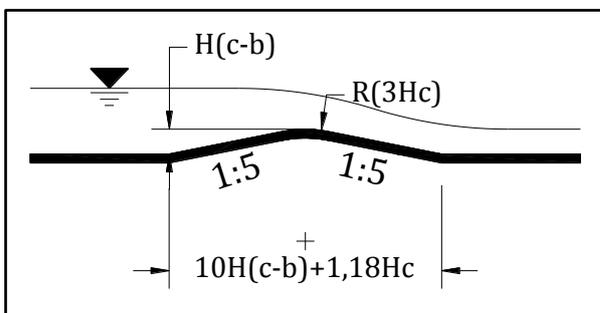
Bentuk bangunan bagi tipe numbak diadopsi dari bentuk bangunan bagi di Subak dan bentuk peralihan bangunan dari Kraatz dan Mahajan (1975) dan materinya direkomendasikan dimasukkan dalam Kriteria Perencanaan Irigasi. Konstruksi bangunan bagi tipe numbak meletakkan bangunan bagi sekunder, sadap tersier dan bangunan pengatur dalam posisi sejajar seperti ditunjukkan pada Gambar 2 untuk menghasilkan aliran searah.



Gambar 2 Tata Letak Bangunan Bagi Sadap Bentuk Numbak (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013)

2.2. Ambang Segitiga (Triangular Sill)

Ambang segitiga adalah struktur peninggian berbentuk segitiga dengan puncak yang dibulatkan. Radius lengkungan puncak ambang adalah tiga kali kedalaman kritis rencana ($3H_c$). Panjang lengkungan puncak ambang adalah $1,176H_c$. Kemiringan pada hulu dan hilir ambang adalah 1:4 sampai 1:5. Ilustrasi ambang segitiga dan dimensinya adalah seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Ambang Segitiga

Debit yang melalui ambang segitiga ini dirumuskan dengan Persamaan 1 sedangkan koefisien C pada Persamaan 2 (Kraatz dan Mahajan, 1975).

$$Q = C \cdot B \sqrt{2g} \cdot H_c^{3/2} \dots\dots\dots(1)$$

$$C = \frac{1 + \frac{0,423}{\left\{1 + \frac{2}{3} \left(\frac{H(c-b)}{H_c}\right)\right\}^2}}{\sqrt{2} \left\{\frac{3}{2} + 0,0066 \frac{H(c-b)}{H_c}\right\}^{3/2}} \dots\dots\dots(2)$$

Q adalah debit yang melalui ambang segitiga, B adalah lebar saluran, g adalah percepatan gravitasi, H_c adalah tinggi muka air di puncak ambang, dan $H_{(c-b)}$ adalah tinggi ambang.

2.3. Skala Model

Skala dasar untuk model-model hidraulik adalah skala geometris, yaitu nisbah antara dimensi panjang pada model dan dimensi panjang pada prototip. Pemilihan skala geometris yang cocok tergantung pada tingkat ketelitian yang ingin dicapai ruang yang tersedia untuk membuat model dan fasilitas lainnya. Persyaratan kesebangunan dinamis dipakai untuk menentukan skala-skala model yang lain. Sebagai contoh skala debit, memungkinkan untuk menentukan kisaran aliran dalam model yang harus sesuai dengan kisaran debit yang ada pada prototip.

Jika gaya gravitasi yang dominan dalam suatu sistem, maka untuk penskalaan model dipakai bilangan Froude. Bilangan Froude harus sama antara model dan prototip.

$$(F_r)_m = (F_{rp}) \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{v}{\sqrt{gh}}_m = \frac{v}{\sqrt{gh}}_p \dots\dots\dots(4)$$

Subskrip m dan p menunjukkan model dan prototip, v adalah kecepatan aliran, F_r adalah bilangan Froude, g adalah percepatan gravitasi, dan h adalah kedalaman air. Dengan menganggap bahwa percepatan gravitasi adalah konstan pada model dan prototip maka

$$\frac{v_m}{v_p} = \frac{h_m}{h_p}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{atau } n_v = (n_h)^{1/2} \dots\dots\dots(6)$$

Skala-skala lain dapat diturunkan dengan menransformasikan persyaratan Froude seperti di atas. Sebagai contoh, besaran debit Q merupakan perkalian antara kecepatan aliran V dan luas penampang A , atau

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots(7)$$

Sehingga:

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \left(\frac{V_m}{V_p} \cdot \frac{A_m}{A_p}\right) \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{Atau } n_Q = (n_L)^{5/2} \text{ jika } n_h = n_L$$

Skala debit umumnya digunakan untuk menentukan debit pada model yang berkaitan dengan kapasitas catu air di laboratorium.

2.4. Kesalahan Relatif Model

Hasil dari pengukuran dapat memiliki dua macam kesalahan yaitu kesalahan sistematis (*systematic error*) dan kesalahan stokastik (*stochastic error*).

error). Kesalahan sistematik dapat diperkecil dengan cara melakukan kalibrasi peralatan sebelum digunakan. Sedangkan kesalahan stokastik besarnya sangat tergantung peralatan yang dipakai. Kesalahan biasanya dinyatakan dengan persentase (%) dari hasil pengukuran. Pemilihan alat atau instrumentasi yang tepat atau sesuai dengan percobaan yang sedang dilakukan dapat mengurangi kesalahan. Analisis perambatan kesalahan pada peralatan ke hasil penelitian dapat digunakan metode *Quadratic Error Propagation* (Yuwono, 1996).

$Z = f(x,y)$ dimana x dan y merupakan variabel independen dan terdistribusi normal, maka perambatan kesalahan relatifnya adalah

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 \left[\frac{\partial f}{\partial x} \right]^2 + \sigma_y^2 \left[\frac{\partial f}{\partial y} \right]^2 \dots\dots\dots(9)$$

III. METODOLOGI

3.1. Lokasi

Penelitian dilakukan di laboratorium *out door* hidraulika Balai Irigasi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat di Bekasi, Jawa Barat.

3.2. Model Fisik

Model fisik yang digunakan untuk pengujian pada penelitian ini adalah model bangunan bagi proporsional tipe numbak (Gambar 4) dengan proporsi 1:2:1. Model dibuat di Balai Irigasi pada tahun 2010 dengan skala tak terdistorsi 1:4. Konstruksi model dibuat dengan pasangan batu bata dan dilapis dengan plesteran halus. Pilar pembagi dibuat dari ferrosemen dan tambahan pilar pembagi dibuat dari plat baja tebal 1,3 mm. Ambang lebar dibuat dengan bahan beton. Dimensi ambang yaitu panjang (B_w) dan tinggi (ΔZ) direncanakan berdasarkan rancangan

perlakuan debit. Tabel 1 menunjukkan dimensi beberapa parameter pada prototip dan model yang dibuat.

Tabel 1 Ukuran Prototip dan Model dengan Skala Geometris 1:4

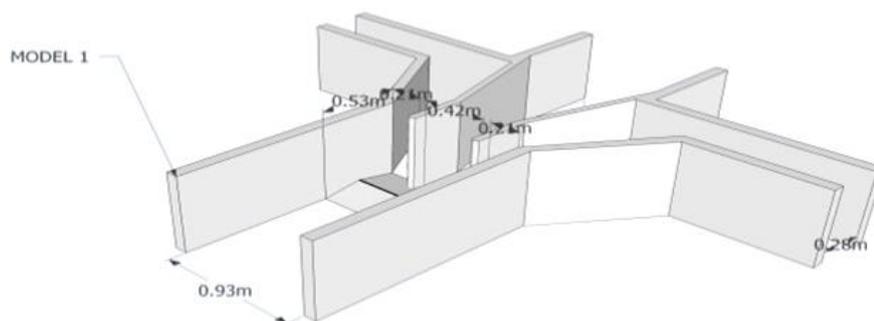
No	Parameter	Prototip	Model
1	Debit (m^3/s)	0,8	0,025
2	Kedalaman kritis, H_c (m)	0,3	0,075
3	Tinggi ambang segitiga (m)	0,6	0,15
4	Lebar saluran induk (m)	3,333	0,833
5	Lebar saluran 1 (m)	0,833	0,21
6	Lebar saluran 2 (m)	1,667	0,42
7	Lebar saluran 3 (m)	0,833	0,21



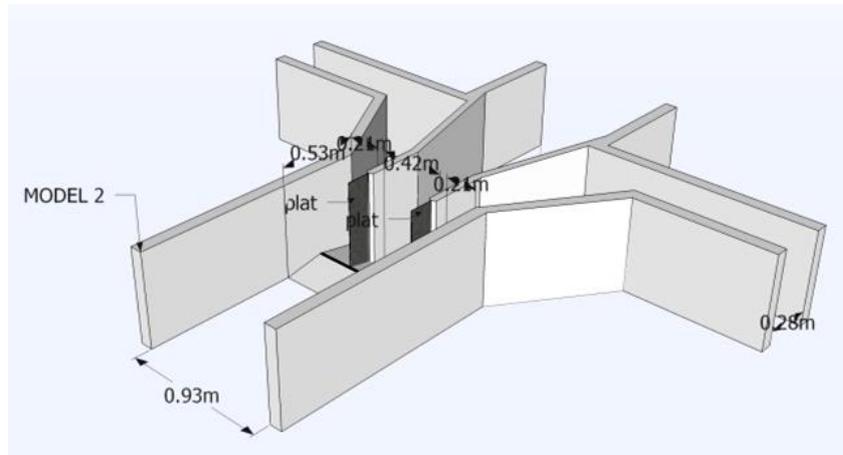
Gambar 4 Model Fisik Bangunan Bagi Proporsional (Subari et al., 2013)

3.3. Rancangan Perlakuan

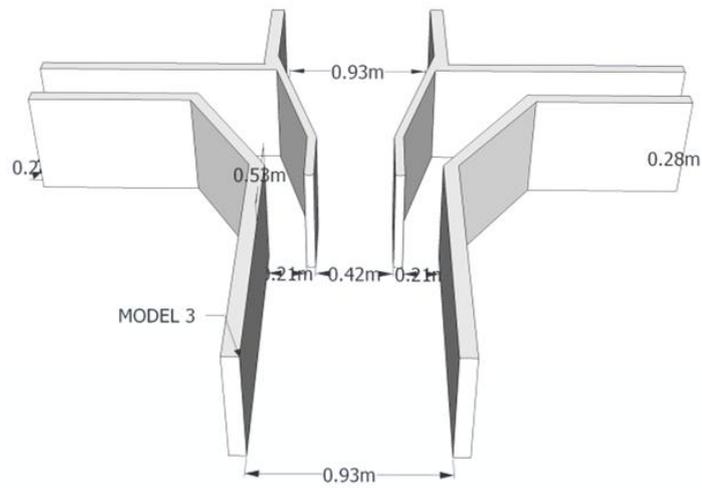
Pengujian lanjutan pada penelitian ini dikembangkan dengan mengganti ambang eksisting yang berbentuk segitiga dengan ambang lebar serta mengubah posisi pilar pembagi terhadap puncak ambang. Skenario penelitian masing-masing ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.



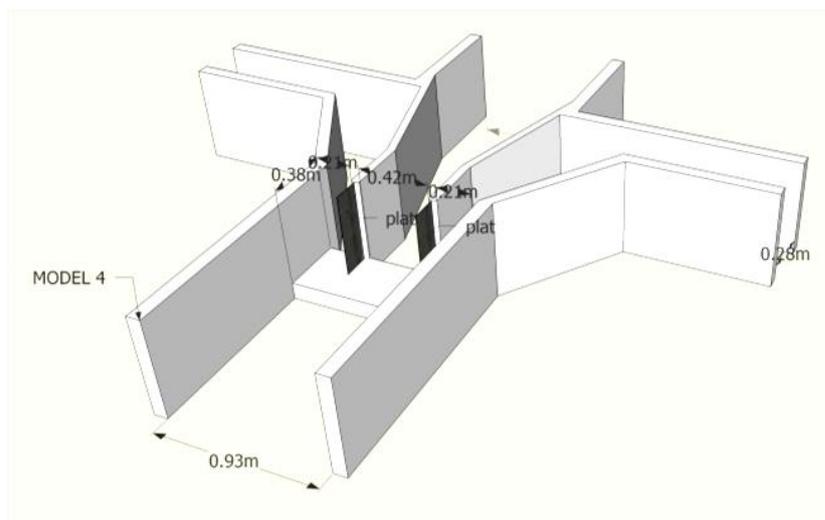
Gambar 5 Ambang Segitiga dan Posisi Pilar Pembagi pada Kaki Ambang (Skenario 1)



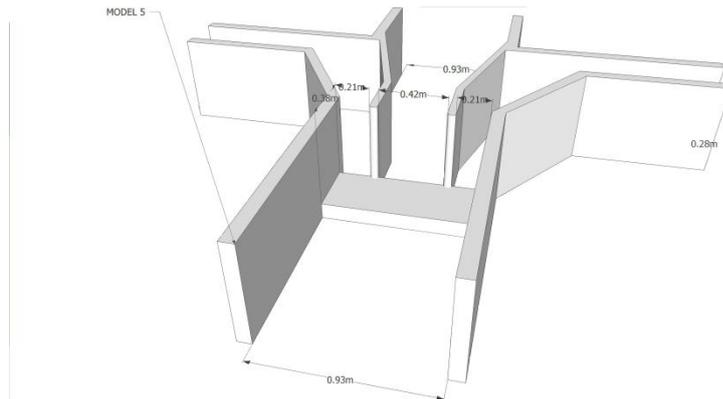
Gambar 6 Ambang Segitiga dan Posisi Pilar Pembagi dengan Ujung Plat (Skenario 2)



Gambar 7 Bangunan Bagi Tanpa Dilengkapi Ambang (Skenario 3)



Gambar 8 Ambang Lebar dan Posisi Pilar Pembagi serta Penambahan Plat (Skenario 4)



Gambar 9 Ambang Lebar dan Posisi Pilar Pembagi pada Kaki Ambang (Skenario 5)

Besarnya debit pengaliran pada model bervariasi mulai dari 15 l/s sampai dengan kapasitas maksimum penampang saluran dan pada debit berdasarkan skema jaringan irigasi yang direncanakan (± 70 l/s). Debit minimum yang direncanakan pada saluran sekunder menurut KP 03 adalah lebih besar dari 25 l/s. Debit tersebut jika diperlakukan pada model akan menjadi 0,78 l/s. Walaupun perlakuan debit memenuhi persyaratan tersebut namun debit minimum yang diperlakukan harus memenuhi rentang minimum debit terukur sesuai dimensi Rehbock dan Thompson yang digunakan. Perlakuan variasi debit paling besar juga mempertimbangkan kondisi drainase pada model fisik sehingga syarat aliran pada alat ukur terpenuhi. Selain itu mekanisme drainase aliran dari model fisik kembali ke kolam tampungan juga dipertimbangkan. Sehingga pengaliran debit di model yang direncanakan adalah 70, 60, 45, 30, dan 15 l/s.

3.4. Tahapan Pelaksanaan

Metode pelaksanaan penelitian dilakukan sesuai dengan tahapan sebagai berikut:

1. Melakukan kalibrasi alat ukur debit Rehbock, Thompson, dan alat ukur kecepatan.
2. Menganalisis perambatan kesalahan pada peralatan ke hasil penelitian dengan menggunakan metode perambatan kesalahan kuadrat.
3. Melakukan kajian teoretis posisi penempatan ambang pada bangunan bagi proporsional. Kajian ini dilakukan berdasarkan KP 04, KP 02, dan publikasi ilmiah terkait.
4. Melakukan perubahan pada model fisik sesuai dengan skenario jenis ambang dan penambahan panjang pilar pembagi terhadap ambang.
5. Melakukan pengaliran pada model fisik untuk masing-masing skenario dengan variasi debit yang sudah direncanakan.

6. Melakukan pengamatan dan pencatatan parameter pengujian sebagai berikut:
 - a. pengamatan pada parameter tinggi muka air (H, h_1, h_2, h_3, h_a) dengan menggunakan mistar taraf (*point gauge*).
 - b. mengukur kecepatan (U, U_1, U_2, U_3) pada masing-masing saluran, kecepatan di atas ambang, serta kecepatan di pilar pembagi.
 - c. mengukur debit terbagi pada masing-masing saluran ($Q_1, Q_2, \text{ dan } Q_3$) dengan pengamatan pada alat ukur debit Thompson.
7. Melakukan pengulangan langkah untuk semua skenario 1, 2, 3, 4 dan 5.
8. Menganalisis hasil uji model fisik.
9. Pengambilan kesimpulan penelitian serta rekomendasi perencanaan bangunan bagi proporsional tipe numbak.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kalibrasi Rehbock

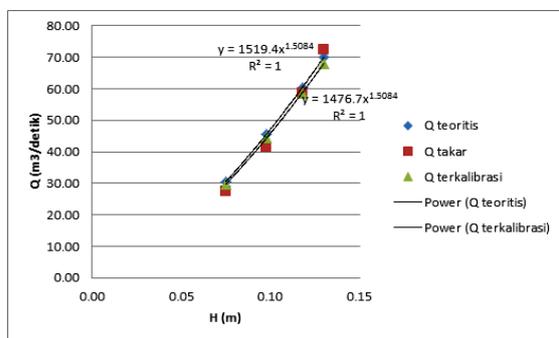
Kalibrasi ambang tajam persegi panjang (Rehbock) yang terpasang pada saluran masuk dilakukan dengan cara volumetrik. Tabel 2 menunjukkan hasil kalibrasi alat ukur debit ini dan menunjukkan rerata kesalahan relatifnya adalah 9,77%. Nilai ini lebih besar dari 5% sehingga diperlukan penyesuaian debit dengan mencari koefisien kalibrasi (K).

Tabel 2 Hasil Kalibrasi Rehbock

No	H Rehbock (cm)	Q Teoretis (liter/detik)	Q Volumetrik (liter/detik)	Kesalahan Relatif (%)
1	0,0470	15,24	19,53	21,96
2	0,0750	30,55	27,60	10,69
3	0,0980	45,67	41,40	10,29
4	0,1180	60,47	58,77	2,89
5	0,1300	70,05	72,24	3,03
Rata-rata				9,77

Perhitungan debit kalibrasi sebagai patokan diambil debit seri ke 4, dengan Q aktual

= 58,77 l/s karena mempunyai kesalahan relatif terkecil yaitu sebesar 2,89 %. Dengan mengalikan koefisien kalibrasi (K) untuk setiap debit hitung akan didapat seri debit sebagai berikut : $K = Q_{\text{aktual}} / Q_{\text{hitung}} = 58,77/60,47 = 0,9719$. Seri debit $Q_{\text{kalibrasi}} = 0,9719 \times Q_{\text{Rehbock teoretis}}$. Berdasarkan persamaan regresi dari debit terkalibrasi maka lengkung debit yang digunakan pada penelitian ini adalah seperti pada Gambar 10. Persamaan yang dihasilkan untuk lengkung debit Rehbock adalah $y = K \cdot 1519,4x^{1,5084}$ atau $Q = K \cdot 1519,4 \cdot H^{1,5084}$. Persamaan debit terkalibrasi yang baru menjadi $Q = 1476,7H^{1,5084}$. Selanjutnya dilakukan pengecekan kembali kesalahan relatif antara debit terkalibrasi dengan debit takar agar memiliki KR kurang dari 5%.



Gambar 10 Lengkung Debit Kalibrasi Rehbock

4.2. Kalibrasi Thompson

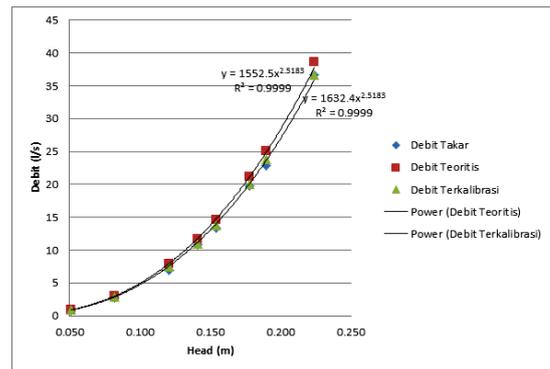
Dalam proses ini, debit yang didapatkan dari hasil penakaran digunakan sebagai dasar dalam melakukan kalibrasi terhadap alat ukur sehingga debit hasil penakaran digunakan sebagai pengendali dan paling benar. Hasil kalibrasi untuk Thompson memberikan data seperti pada Tabel 3 berikut. Kesalahan relatif pengukuran debit dengan alat ukur pada penelitian ini adalah 9,05%.

Tabel 3 Hasil Kalibrasi Thompson

No	Head Thompson (m)	Debit Teoretis (l/s)	Debit Volumetrik Q (lt/dt)	Kesalahan Relatif %
1	0,051	0,92	0,84	9,61
2	0,082	2,98	2,68	11,25
3	0,121	7,88	6,92	13,86
4	0,141	11,61	10,82	7,34
5	0,154	14,54	13,39	8,58
6	0,178	21,12	19,78	6,76
7	0,190	25,02	22,78	9,83
8	0,224	38,63	36,73	5,15
				9,05

Selanjutnya untuk perhitungan debit kalibrasi sebagai patokan diambil debit seri ke-8, dengan $Q_{\text{aktual}} = 0,814$ l/s karena mempunyai kesalahan relatif terkecil yaitu sebesar 5,15 %. Dengan mengalikan koefisien kalibrasi (K) untuk setiap

debit hitung akan didapat serie debit sebagai berikut : $K = Q_{\text{aktual}} / Q_{\text{hitung}} = 36,73 / 38,63 = 0,95105$ Seri debit: $Q_{\text{kalibrasi}} = 0,95105 \times Q_{\text{Thompson teoretis}}$. Berdasarkan persamaan regresi dari debit terkalibrasi maka lengkung debit yang digunakan pada penelitian ini adalah seperti pada Gambar 11. Persamaan yang dihasilkan untuk lengkung debit Thompson adalah $y = K \cdot 1552,5x^{2,5183}$ atau $Q = 0,95105 \cdot 1552,5H^{2,5183}$. Persamaan debit terkalibrasi yang baru menjadi $Q = 1632,4H^{2,5183}$.



Gambar 11 Lengkung Debit Kalibrasi

4.3. Kalibrasi Alat Ukur Kecepatan

Kalibrasi *current meter* sebagai alat ukur kecepatan aliran dilakukan oleh Balai Hidrologi, Pusat Litbang SDA di Ciparay, Bandung. Kalibrasi dilakukan sesuai dengan metode yang mengacu pada *ISO 3455 - 2007: Hydrometry - Calibration of Current Meters in Straight Open Tanks*. Kalibrasi dilakukan pada Juni 2014. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa alat memiliki ketidakpastian $\pm 0,07$ m/s dengan faktor cakupan (k) = 1,96 pada tingkat kepercayaan (CL) 95%.

4.4. Perambatan Kesalahan Perhitungan Bilangan Froude (Fr)

Perambatan kesalahan pada perhitungan bilangan Froude dihitung berdasarkan parameter yang mempengaruhi. Dengan demikian maka perambatan kesalahan pada hasil perhitungan bilangan Froude bersumber dari kesalahan relatif pengukuran kecepatan dan kedalaman muka air. Hasil perhitungan perambatan kesalahan perhitungan bilangan Froude adalah 7% dengan KR *current meter* adalah $\pm 7\%$ dan KR meteran taraf $\pm 2\%$.

$$Fr = f(U, H)$$

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{gH}} = \frac{1}{\sqrt{9,81}} UH^{-1/2} = 0,31 UH^{-1/2}$$

$$r_F = \sqrt{(r_U)^2 + \frac{1}{4}(r_H)^2}$$

$$r_F = \sqrt{(7\%)^2 + \frac{1}{4}(2\%)^2} = \sqrt{49\% + 1\%} = 7\%$$

4.5. Perambatan Kesalahan pada Perhitungan Debit dengan Perkalian Luas Penampang dan Kecepatan Aliran

Perhitungan perambatan kesalahan relatif pada pengukuran debit ini adalah berdasarkan kesalahan relatif pada kesalahan relatif pada pengukuran parameter kedalaman air (H) dengan point gauge dan kecepatan aliran (U).

$$Q = f(B,H,U)$$

$$Q = B \times H \times U$$

$$\sigma_Q^2 = \sigma_H^2(U^2) + \sigma_U^2(H^2)$$

Sehingga perhitungan perambatan kesalahan dengan KR *point gauge* 2% dan KR *current meter* 7% adalah:

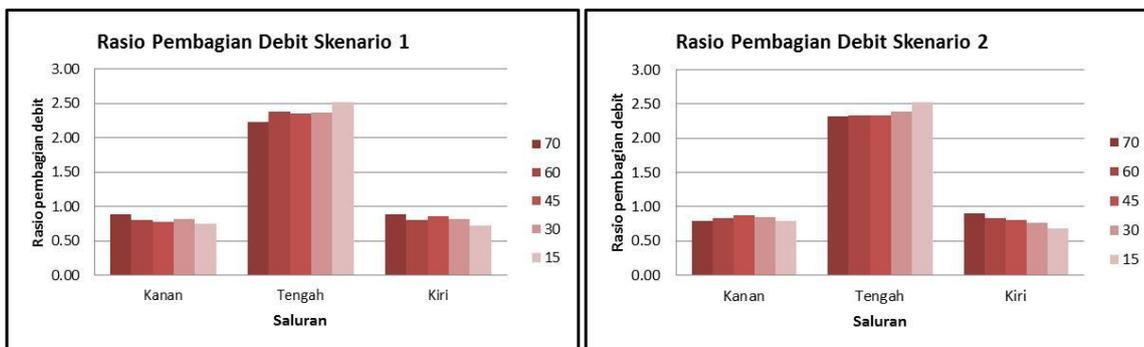
$$\sigma_Q^2 = (2\%)^2 + 7\%^2$$

$$\sigma_Q = \sqrt{(2\%)^2 + (7\%)^2} = 7,28\%$$

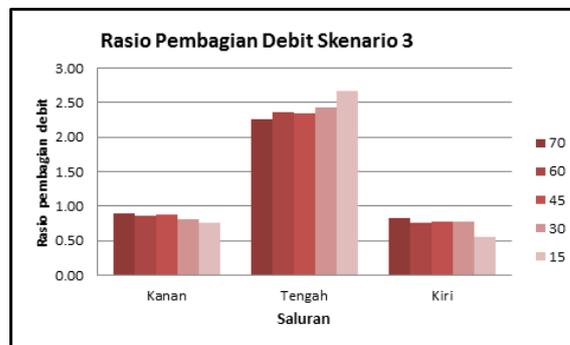
Maka kesalahan relatif perhitungan debit dari perkalian luas penampang dan kecepatan adalah $\pm 7,28\%$.

4.6. Proporsionalitas Pembagian Debit

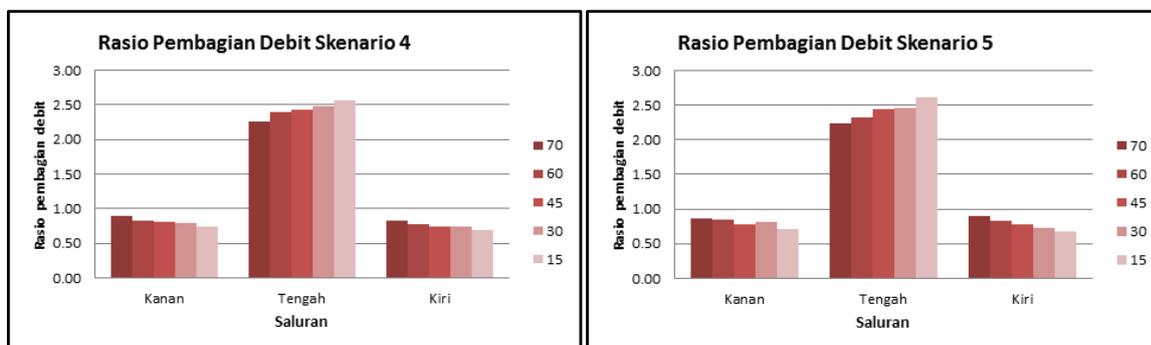
Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua skenario (Gambar 12, 13, dan 14) pada berbagai debit pengaliran memberikan proporsi pembagian debit yang lebih besar pada saluran tengah. Rata-rata rasio pembagian debit pada masing-masing saluran kanan, tengah dan kiri adalah 0,82 : 2,4 : 0,78 atau dengan proporsi 1,05 : 3,08 : 1. Tabel 4 merupakan tabulasi pembagian debit untuk semua skenario penelitian.



Gambar 12 Rasio Pembagian Debit pada Skenario 1 dan 2



Gambar 13 Rasio Pembagian Debit Skenario 3



Gambar 14 Rasio Pembagian Debit Skenario 4 dan 5

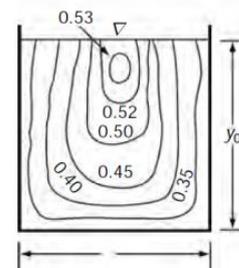
Hasil pengujian pada semua skenario (Tabel 4) juga menunjukkan bahwa pada semakin kecil debit maka pembagian debit pada masing-masing saluran semakin tidak proporsional. Skenario 1 dan 2 pada debit kecil 15 l/s menunjukkan pembagian debit yang paling tidak proporsional. Jika dilihat dengan penelitian sebelumnya hal ini sesuai dengan Subari *et al.* (2013) bahwa pembagian debit belum proporsional terlihat pada debit di bawah 20 l/s. Saluran tengah mendapatkan debit lebih besar karena didesain dengan lebar bukaan saluran yang lebih besar daripada saluran kanan dan kiri. Pembagian debit pada pengempangan di atas ambang lebar menurut Priyantoro (1996) juga menunjukkan pola yang proporsional terhadap luas penampang pengempangan.

Saluran tengah mempunyai debit yang lebih besar karena mendapatkan kecepatan aliran yang hambatannya lebih sedikit jika dibandingkan dengan saluran kanan dan kiri. Saluran tengah yang lurus memiliki hambatan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan saluran membelok. Penelitian Sulastri (2012) juga mengemukakan bahwa di saluran tengah pada bangunan bagi numbak di Subak Jaka Dayang mengalirkan debit yang lebih banyak dibandingkan dengan saluran samping.

Ikhsan (2006) juga menyatakan bahwa distribusi kecepatan rata-rata pada saluran persegi adalah $0,45D$ secara vertikal dan secara horisontal pada $0,27B$. Nilai maksimum dari distribusi kecepatan yang dihasilkan terjadi mendekati muka air pada arah vertikal dan pada tengah tampang ($1/2B$).

Distribusi kecepatan pada saluran persegi yang digambarkan secara kontur diberikan oleh Subramanya (2009) pada Gambar 15. Gambar tersebut menunjukkan bahwa pada tengah penampang saluran segiempat kecepatan aliran mencapai kecepatan maksimum. Penelitian lain yang menunjukkan distribusi kecepatan yang mencapai maksimum di tengah penampang antara lain oleh Chiu (1988), Sarma *et al.* (1983) dan Yang (2010).

Jika sepenuhnya proporsional sesuai dengan lebar saluran maka rasio pembagian debit pada bangunan bagi model ini adalah 1:2:1. Namun berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa pembagian debit tidak sepenuhnya proporsional sesuai dengan lebar saluran. Terdapat perbedaan debit terbagi dengan debit yang diekspektasikan. Debit ekspektasi merupakan debit yang diharapkan jika sepenuhnya proporsional yaitu 1:2:1.



Gambar 15 Kontur Distribusi Kecepatan pada Saluran Persegi (Subramanya, 2009)

Tabel 4 Pembagian Debit pada Semua Skenario

Saluran	Skenario									
	5		4		3		2		1	
	Q (l/s)	Rasio	Q (l/s)	Rasio	Q (l/s)	Rasio	Q (l/s)	Rasio	Q (l/s)	Rasio
Kanan	14,44	0,86	14,91	0,90	14,91	0,90	14,67	0,88	14,91	0,89
Tengah	37,52	2,24	37,52	2,27	37,52	2,27	37,52	2,25	37,52	2,23
Kiri	14,91	0,89	13,75	0,83	13,75	0,83	14,44	0,87	14,91	0,89
Jumlah	66,86		66,18		66,18		66,63		67,33	
Kanan	13,30	0,85	12,65	0,83	12,65	0,86	12,65	0,83	12,65	0,81
Tengah	36,29	2,32	36,70	2,40	34,69	2,37	35,48	2,34	37,52	2,39
Kiri	13,08	0,83	11,81	0,77	11,20	0,77	12,65	0,83	12,65	0,81
Jumlah	62,67		61,16		58,53		60,78		62,82	
Kanan	9,67	0,78	10,23	0,82	10,42	0,87	10,42	0,87	8,79	0,79
Tengah	30,50	2,45	30,50	2,44	28,00	2,35	28,00	2,33	26,30	2,35
Kiri	9,67	0,78	9,31	0,74	9,31	0,78	9,67	0,80	9,67	0,86
Jumlah	49,85		50,04		47,73		48,10		44,76	
Kanan	6,87	0,82	6,87	0,79	6,87	0,81	7,17	0,85	6,43	0,81
Tengah	20,69	2,45	21,56	2,47	20,69	2,42	20,11	2,39	18,72	2,37
Kiri	6,15	0,73	6,43	0,74	6,58	0,77	6,43	0,76	6,43	0,81
Jumlah	33,71		34,87		34,13		33,72		31,59	
Kanan	3,16	0,71	3,26	0,73	2,98	0,77	3,26	0,79	3,26	0,75
Tengah	11,60	2,62	11,40	2,57	10,42	2,68	10,42	2,53	11,00	2,53
Kiri	2,98	0,67	3,07	0,69	2,17	0,56	2,81	0,68	3,16	0,73
Jumlah	17,75		17,73		15,57		16,48		17,42	

Tabel 5 menunjukkan persentase selisih debit terukur dengan debit ekspektasi pada masing-masing saluran dan pada berbagai variasi debit. Selisih debit terukur dengan debit ekspektasi (ΔQ) dibuat dengan tujuan untuk mengetahui proporsionalitas bangunan bagi. Semakin besar ΔQ maka bangunan semakin tidak proporsional. Demikian pula sebaliknya jika ΔQ semakin kecil maka pembagian debit semakin mendekati proporsional. Jika dilihat nilai rata-rata maka skenario 2 adalah skenario yang memiliki nilai ΔQ paling kecil. Secara berurutan nilai ΔQ dari kecil ke besar adalah Skenario 2, 1, 5, 4 dan 3.

Tabel 5 Persentase Selisih Debit Terukur dan Debit Ekspektasi pada Semua Skenario

Perlakuan Debit	Saluran	Persentase Debit Terjadi - Debit Ekspektasi(%)				
		5	4	3	2	1
68,04	Kanan	15,8	11,0	11,0	13,6	12,9
	Tengah	10,9	11,8	11,8	11,2	10,3
	Kiri	12,2	20,3	20,3	15,4	12,9
58,79	Kanan	17,8	20,9	15,7	20,1	24,2
	Tengah	13,7	16,7	15,6	14,4	16,3
	Kiri	19,8	29,5	30,7	20,1	24,2
44,43	Kanan	28,8	22,3	14,5	15,4	27,3
	Tengah	18,3	18,0	14,8	14,1	14,9
	Kiri	28,8	34,3	28,1	24,3	15,7
29,68	Kanan	22,7	26,9	24,2	17,6	22,7
	Tengah	18,5	19,2	17,5	16,2	15,6
	Kiri	37,0	35,5	29,7	31,0	22,7
14,67	Kanan	40,3	36,1	30,5	15,0	33,7
	Tengah	23,5	22,2	25,3	16,8	20,8
	Kiri	48,8	44,3	79,5	37,6	37,7
Rata-rata		23,8	24,6	24,6	18,8	20,8

Hasil uji t berpasangan berdasarkan persentase ΔQ pada Tabel 5 ditunjukkan pada Tabel 6. Uji ini mengetahui apakah dengan adanya perlakuan pada berbagai skenario memiliki perbedaan ΔQ yang signifikan atau tidak.

4.7. Pilar Pembagi

Bentuk pilar pembagi yang berbeda memberikan pola aliran yang berbeda. Pola aliran yang melalui pilar tebal 5 cm dan dibulatkan pada bagian ujungnya membentuk suatu riak (*wake*). Berbeda dengan aliran yang melalui plat tipis 1,3 mm tidak terjadi riak. Muka air sebelum melewati pilar akan naik akibat adanya aliran balik (*back water*). Pola aliran yang terjadi untuk debit desain 70 l/s pada skenario 4 (Gambar 16 kiri) dan pada skenario 5 (Gambar 16 kanan).

Berdasarkan uji t berpasangan pada Tabel 6 maka untuk penggunaan pilar tipis (Skenario 2 dan 4)

dan tebal (Skenario 1 dan 5) tidak memberikan nilai ΔQ yang signifikan.



Gambar 16 Aliran pada Pilar Tipis Plat Baja (Kiri) dan Pilar Beton (Kanan)

Tabel 6 Hasil Uji T Berpasangan ΔQ pada Semua Kombinasi Skenario

No	Skenario		T Hitung	T Tabel	Jawaban Hipotesis
	Sebelum Perlakuan	Setelah Perlakuan			
1	1	2	-0,35	2,14	√
2	1	3	-1,23	2,14	√
3	1	4	-1,60	2,14	√
4	1	5	-1,91	2,14	√
5	2	3	-2,55	2,14	x
6	2	4	-3,24	2,14	x
7	2	5	-1,04	2,14	√
8	3	4	0,17	2,14	√
9	3	5	0,40	2,14	√
10	4	5	-0,73	2,14	√

Keterangan:

x: H_0 diterima dan tidak ada perbedaan signifikan

√: H_0 ditolak dan ada perbedaan signifikan

4.8. Pengaruh Bilangan Froude Aliran dan Posisi Pilar terhadap Pembagian Debit

Hasil pengujian pada penelitian ini salah satunya adalah menunjukkan bilangan Froude aliran pada bangunan bagi. Tabel 7 menunjukkan bilangan Froude aliran pada titik penempatan pilar pembagi pada masing-masing skenario. Pada skenario 1 posisi pilar berada pada akhir ambang segitiga dan pada penelitian ini kecepatan aliran tidak terukur. Namun berdasarkan nilai Fr pada puncak ambang segitiga yang masih subkritis, maka pada posisi pilar juga diduga masih subkritis dan nilainya tidak jauh dari Fr pada Skenario 2.

Berdasarkan Tabel 7 pada skenario 1, 2, dan 3 aliran pada posisi penempatan ambang adalah subkritis. Penghilangan ambang pada skenario 3 menyebabkan penurunan bilangan Froude. Jika dihubungkan dengan rasio pembagian debit pada Tabel 3 serta hasil uji t berpasangan pada Tabel 5 maka penurunan bilangan Froude pada posisi pilar pembagi mengakibatkan proporsionalitas pembagian debit juga turun. Selisih debit yang terbagi dengan debit ekspektasi semakin besar. Perbedaan ΔQ ini cukup signifikan berdasarkan hasil uji T pada Tabel 6.

Tabel 7 Bilangan Froude Aliran di Posisi Pilar Pembagi pada Masing-masing Skenario

Perlakuan Debit (l/s)	Saluran	Bilangan Froude pada Skenario-				
		5	4	3	2	1
68,04	Kanan	1,27	-	0,58	0,83	-
	Tengah	1,50	-	0,48	0,83	-
	Kiri	1,17	-	0,62	0,77	-
58,79	Kanan	1,04	0,86	0,53	0,78	-
	Tengah	1,28	0,83	0,53	0,77	-
	Kiri	1,08	0,83	0,65	0,77	-
44,43	Kanan	1,39	1,00	0,54	0,77	-
	Tengah	1,41	1,06	0,47	0,75	-
	Kiri	1,32	0,88	0,48	0,75	-
29,68	Kanan	1,31	1,03	0,55	0,75	-
	Tengah	1,50	1,07	0,57	0,74	-
	Kiri	1,32	0,95	0,51	0,71	-
14,67	Kanan	1,20	0,70	0,57	0,67	-
	Tengah	0,90	1,09	0,54	0,67	-
	Kiri	0,83	0,64	0,53	0,62	-

Keterangan: '-' Tidak ada data

Pemasangan ambang lebar setinggi 10 cm pada skenario 4 dan 5 meningkatkan bilangan Froude. Pada skenario 4 posisi pilar pembagi berada di $0,5B_w$ ambang lebar. Posisi ini memberikan bilangan Froude pada kisaran 0,7-1,3 pada saluran kanan, 0,64-0,95 pada saluran kiri, dan 0,83-1,09 pada saluran tengah. Posisi pilar pada skenario 5 adalah pada $0,1B_w$ ambang lebar. Posisi ini memberikan bilangan Froude pada kisaran 1,04-1,39 pada saluran kanan, 0,83-1,32 pada saluran kiri, dan 0,9-1,5 pada saluran tengah. Jika dilihat nilai reratanya maka Fr pada skenario 5 cenderung pada kondisi superkritis pada saat dibagi, sedangkan pada skenario 4 pada kondisi mendekati kritis. Pada Skenario 1, 2, dan 3 pada kondisi subkritis. Pembagian air pada kondisi kritis pada Skenario 4 memiliki nilai rerata ΔQ yang sama dengan pembagian di kondisi subkritis pada Skenario 3.

Bilangan Froude sangat berpengaruh, jika alirannya subkritis maka pembagian debitnya sulit untuk proporsional karena dipengaruhi dasar dan muka air di hilirnya. Bilangan Froude yang kurang dari satu alirannya subkritis dan kecepatannya akan dipengaruhi oleh elevasi muka air di hilirnya. Jika di hilirnya terdapat efek pembendungan maka kecepatan alirannya akan berbeda meskipun muka airnya sama. Berdasarkan Kraatz dan Mahajan (1975) bahwa untuk mendesain bangunan bagi yang memiliki akurasi baik harus pada kondisi superkritis dalam membagi aliran. Yahya (2009) menyatakan bahwa kinerja bangunan bagi proporsional tidak dipengaruhi oleh propertis pada kondisi aliran bebas.

4.9. Fungsi Ambang pada Bangunan Bagi Proporsional

Fungsi ambang pada jaringan irigasi terutama adalah sebagai pengatur muka air dan pengukur debit. Ambang pada bangunan bagi proporsional diperlukan sebagai alat ukur debit sekaligus sebagai struktur yang dapat mengondisikan aliran sebelum dibagi. Menurut Binilang (2014) ambang digunakan pada saluran terbuka berfungsi untuk mengendalikan muka air di hulu. Ambang berfungsi sebagai rintangan yang menciptakan kondisi energi minimum pada aliran lambat. Ambang dapat berfungsi sebagai alat ukur debit jika ambang pada kondisi sebagai peluap sempurna. Pembagian air pada kondisi tanpa ambang pada Skenario 3 merupakan kondisi pembagian air yang paling tidak proporsional jika dibandingkan dengan skenario lainnya.

Perhitungan debit secara teoretis pada saluran induk dapat didekati dengan formula pada aliran di atas ambang, baik pada ambang segitiga maupun ambang lebar. Menurut Subramanya (1986) debit pada ambang lebar sempurna adalah seperti pada Persamaan 10.

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} \cdot B \cdot H_1^{3/2} \dots\dots\dots (10)$$

Jika B diketahui dan H_1 , Q didapatkan dari hasil pengamatan maka C_d dapat dihitung seperti Persamaan 11 berikut. Hasil perhitungan C_d seperti pada Persamaan 11 dan 12 berikut.

$$C_d = \frac{3}{2} \frac{Q}{\sqrt{2g} \cdot B \cdot H_1^{1,5}} \dots\dots\dots (11)$$

Berdasarkan Subramanya (2009) bahwa untuk ambang lebar sempurna maka $0,1 \leq H_1/B_w \leq 0,35$. Perhitungan koefisien debit adalah sesuai Persamaan 12.

$$C_d = 0,028(H_1/B_w) + 0,521 \dots\dots\dots (12)$$

Tabel 8 Hasil Perhitungan Koefisien Debit Ambang Lebar pada Skenario 4

Debit Thompson (l/s)	Debit Teoretis Ambang Lebar (l/s)	H ₁ /B _w	C _d	Selisih Debit (l/s)
66,18	69,11	0,35	0,531	2,39
61,16	63,59	0,33	0,530	2,42
50,04	52,29	0,29	0,529	2,25
34,87	31,52	0,21	0,527	3,35
17,73	21,21	0,16	0,525	3,48

Tabel 9 Hasil Perhitungan Koefisien Debit Ambang Lebar pada Skenario 5

Debit Thompson (l/s)	Debit Teoretis Ambang Lebar (l/s)	H ₁ /B _w	C _d	Selisih Debit (l/s)
66,86	73,98	0,37	0,531	7,12
62,67	61,89	0,32	0,530	0,89
49,85	55,23	0,30	0,529	5,38
33,71	38,47	0,24	0,528	4,76
17,75	22,28	0,17	0,526	4,53

Berdasarkan hasil perhitungan debit teoretis untuk ambang lebar maka dapat diketahui bahwa perhitungan teoretis cenderung lebih besar daripada debit yang terukur pada Thompson. Nilai H₁/B_w sesuai dengan perencanaan mengambil debit 70 l/s sebagai dasar perhitungan. Selanjutnya diketahui nilai B_w (panjang ambang lebar) berdasarkan batasan H₁/B_w = 0,1–0,35. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 9 maka terdapat nilai H₁/B_w yang tidak memenuhi syarat yaitu 0,37. Hal ini terjadi karena berdasarkan perhitungan debit terhitung memiliki nilai lebih dari 70 l/s sehingga nilai H₁/B_w lebih besar daripada 0,35.

Selanjutnya nilai debit teoretis menggunakan ambang lebar ini dapat digunakan di lapangan untuk memprediksi debit total yang akan melalui

Tabel 10 Nilai bilangan tak berdimensi hubungan antara Q_n/Q dengan B_n/H

No	Q ₁ /Q π ₁₇	Q ₂ /Q π ₁₈	Q ₃ /Q π ₁₉	B ₁ /H π ₁₄	B ₂ /H π ₁₅	B ₃ /H π ₁₆
1	0.22	0.56	0.22	0.013	0.026	0.013
2	0.21	0.58	0.21	0.014	0.027	0.014
3	0.22	0.58	0.20	0.015	0.030	0.015
4	0.21	0.60	0.19	0.016	0.033	0.016
5	0.20	0.63	0.17	0.020	0.041	0.020

bangunan bagi.

Arif (1999) dalam Sulastri *et al.* (2012) menyatakan bahwa untuk menerapkan sistem proporsional diperlukan persyaratan antara lain: (i) kecepatan air pada bangunan bagi harus minimal, (ii) bentuk bangunan bagi harus tegak lurus mengalir ke hilir seperti sistem numbak, dan (iii) dan bangunan bagi tidak tenggelam pada saat aliran air irigasi mencapai maksimal. Oleh karena itu penggunaan ambang sangat diperlukan pada bangunan bagi proporsional ini.

4.10. Perencanaan Dimensi Lebar Bukan Saluran

Berdasarkan hasil analisis dimensi maka dipilih bilangan tak berdimensi yang penting sebagai acuan untuk merencanakan bangunan bagi. Dalam hal ini adalah merencanakan bangunan bagi proporsional yang memiliki perbandingan antara saluran kanan, tengah, dan kiri mendekati perbandingan 1:2:1. Bilangan yang tak berdimensi yang dipilih adalah π₁, π₂, π₃, π₄, π₅, π₆, π₈, π₉, π₁₀, π₁₁, π₁₃, π₁₄, π₁₅, dan π₁₆.

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{Q_1}{\sqrt{g \cdot H^5}} & \pi_6 &= \frac{h_3}{H} & \pi_{13} &= \frac{Q}{\sqrt{g \cdot H^5}} \\ \pi_2 &= \frac{Q_2}{\sqrt{g \cdot H^5}} & \pi_8 &= \frac{U}{\sqrt{gH}} & \pi_{14} &= \frac{B_1}{H} \\ \pi_3 &= \frac{Q_3}{\sqrt{g \cdot H^5}} & \pi_9 &= \frac{U_1}{\sqrt{gH}} & \pi_{15} &= \frac{B_2}{H} \\ \pi_4 &= \frac{h_1}{H} & \pi_{10} &= \frac{U_2}{\sqrt{gH}} & \pi_{16} &= \frac{B_3}{H} \\ \pi_5 &= \frac{h_2}{H} & \pi_{11} &= \frac{U_3}{\sqrt{gH}} & & \end{aligned}$$

Bilangan tak berdimensi baru yang dibentuk adalah perbandingan antara π₁, π₂, π₃ terhadap π₁₃ dan menghasilkan π₁₆=Q₁/Q, π₁₇=Q₂/Q, dan π₁₈=Q₃/Q.

Tabel 9 merupakan nilai bilangan tak berdimensi baru yang dibentuk dan merupakan hubungan antara Q_n/Q dengan B_n/H. Gambar 17 menunjukkan hubungan antara Q_n/Q dengan B_n/H.

Merencanakan lebar bukaan masing-masing saluran pada bangunan bagi proporsional menjadi tiga bagian dengan perbandingan debit pada saluran samping antara 0,17Q - 0,22Q dan saluran tengah 0,56Q - 0,63Q dapat menggunakan grafik pada Gambar 17. Jika debit dan kedalaman air pada saluran utama yang akan dibagi diketahui maka berdasarkan Gambar 17 didapatkan masing-masing lebar bukaan saluran kanan, tengah, dan kiri.

Berdasarkan Gambar 17 didapatkan persamaan-persamaan hasil pendekatan kecenderungan persamaan geometrik. Persamaan 13 untuk saluran tengah, Persamaan 13 untuk saluran kanan dan Persamaan 14 untuk saluran kiri.

$$y = 0,2898x^{4,264} \dots\dots\dots (13)$$

$$y = 0,00005x^{-3,637} \dots\dots\dots (14)$$

$$y = 0,0006x^{-2,007} \dots\dots\dots (15)$$

Parameter yang berhubungan yaitu Q_2 , Q , B_2 , dan H disubstitusikan ke Persamaan 13 sehingga didapatkan sebagai berikut.

$$\frac{B_2}{H} = 0,289 \left(\frac{Q_2}{Q} \right)^{4,264}$$

Jika Q_2/Q merupakan perbandingan yang diinginkan untuk saluran tengah misalnya diambil nilai setengah debit total atau nilai sembarang yang memenuhi syarat pembagian debit pada bangunan bagi, maka dengan diketahuinya kedalaman air di saluran utama H maka lebar bukaan saluran tengah B_2 adalah seperti pada Persamaan 16.

$$B_2 = 0,289 \cdot H \left(\frac{Q_2}{Q} \right)^{4,264} \dots\dots\dots (16)$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan Persamaan 17 dan 18 untuk menentukan lebar bukaan pada saluran samping kanan dan kiri sebagai berikut.

$$B_1 = 0,00005 \cdot H \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{-3,637} \dots\dots\dots (17)$$

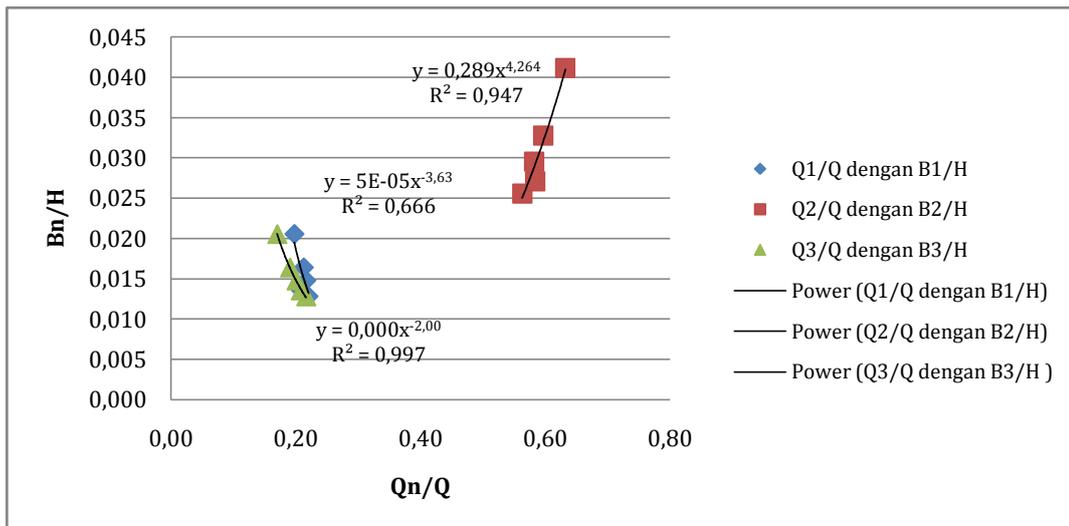
$$B_3 = 0,0006 \cdot H \left(\frac{Q_3}{Q} \right)^{-2,007} \dots\dots\dots (18)$$

Analisis selanjutnya dilakukan terhadap formula prediksi lebar pada saluran samping agar dapat digunakan secara praktis dilakukan dengan menggabungkan data pada Q_1/Q dan Q_3/Q hubungannya dengan B_1/H dan B_3/H . Persamaan pada saluran tengah akan tetap sama seperti Persamaan 16. Sedangkan persamaan baru prediksi untuk merencanakan saluran samping kanan dan kiri adalah seperti pada Persamaan 20 dan 21 berikut.

$$y = 0,0009x^{-1,772} \dots\dots\dots (19)$$

$$B_1 = 0,0009 \cdot H \cdot \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{-1,772} \dots\dots\dots (20)$$

$$B_3 = 0,0009 \cdot H \cdot \left(\frac{Q_3}{Q} \right)^{-1,772} \dots\dots\dots (21)$$



Gambar 17 Hubungan antara $Q_{1,2,3}/Q$ dengan $B_{1,2,3}/H$

V. KESIMPULAN

Semua skenario pada berbagai debit perlakuan memberikan proporsi pembagian debit yang lebih besar pada saluran tengah dengan rata-rata rasio pembagian debit pada masing-masing saluran kanan, tengah dan kiri adalah 0,82 : 2,4 : 0,78. Penambahan pilar tipis dari plat baja sampai dengan puncak ambang tidak memberikan perbedaan ΔQ secara nyata dengan penggunaan pilar pembagi dengan beton. Bilangan Froude sangat berpengaruh, jika alirannya subkritis maka pembagian debitnya sulit untuk proporsional. Ambang pada bangunan bagi proporsional berfungsi sebagai struktur yang mengkondisikan aliran ideal sebelum dibagi dan sebagai penduga debit yang melewati bangunan bagi secara total saluran dengan nilai Cd berkisar antara 0,525–0,531. Merencanakan lebar bangunan bagi proporsional menjadi tiga bagian dengan perbandingan debit pada saluran samping antara 0,17Q–0,22Q dan saluran tengah 0,56Q–0,63Q dapat menggunakan grafik hubungan antar bilangan tak berdimensi yang menunjukkan hubungan antara $Q_{1,2,3}/Q$, $B_{1,2,3}/H$.

Penerapan lebih lanjut pada bangunan bagi yang strategis sebaiknya dilengkapi dengan bangunan pengatur. Penelitian lanjutan dengan variasi lebar bukaan masih sangat diperlukan sebagai bahan acuan perencanaan dengan berbagai desain perbandingan debit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap Tim Balai Irigasi atas bantuannya dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Binilang, A. 2014. Kajian Pengaruh Hubungan Antar Parameter Hidrolis Terhadap Sifat Aliran Melewati Pelimpah Bulat dan Setengah Lingkaran pada Saluran Terbuka. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, Vol.4 (1): 55-61.
- Chiu, Chao-Lin. 1988. *Entropy and 2D Velocity Distribution in Open Channel*. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.114 No. 7 July 1988. www.ascelibrary.org (diakses 12 Mei 2015).
- Direktorat Irigasi dan Rawa. 2013. Standar Perencanaan Irigasi - Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan (KP-04). Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum.

- Ikhsan, C. 2006. Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Seragam pada Saluran Terbuka Tampang Segiempat. *Media Teknik Sipil*. Januari 2006 hal: 35-40. <http://media.sipil.ft.uns.ac.id/index.php/mts/article/view/16/16> (diakses 21 Agustus 2015).
- International Organization for Standardization. 2007. *ISO 3455 - 2007:Hydrometry - Calibration of Current Meters in Straight Open Tanks*. www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3455:ed-2:v1:en (diakses 5 September 2015).
- Kraazt, D. B. and I. K. Mahajan. 1975. *Small Hydraulic Structure*. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nation.
- Priyantoro, D. dan R. Valiant. 1996. Pola Pembagian Debit pada Conduit di Atas Ambang Lebar. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 3 (5): 107-115.
- Sarma, Kandula V. N., P. Lakshminarayana, dan N. S. Lakshmana Rao. 1983. *Velocity Distribution in Smooth Rectangular Open Channel*. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 109 No. 2 February 1983. www.ascelibrary.org (diakses 12 Mei 2015).
- Subari, M.D. Joubert, I.S. Setianingwulan, B. Misgiyanta. 2013. Kajian bangunan bagi sadap proporsional bentuk numbak di laboratorium. *Jurnal Irigasi - Vol. 8 (1): 24-34*.
- Subramanya, K. 2009. *Flow in Open Channel*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Sulastri, N.N., I.W. Tika, dan I.P.G. Budisanjaya. 2012. Kajian Teknis Teknologi Asli (*Indigenous Technology*) Sistem Pembagian Air di Subak. Laporan Penelitian Dosen Muda.
- Yahya, M.H. 2009. Hydraulic approach in designing of proportional division structures in traditional irrigation schemes. *Jurnal Keteknik Pertanian*, Vol. 23 (2): 79-84.
- Yang, Shu-Qing. 2010. Depth-averaged shear stress and velocity in open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering* Vol. 136.
- Yuwono, N. 1996. Perencanaan Model Hidraulik (*Hydraulic Modelling*). Yogyakarta: Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada.