UJI MODEL FISIK KAPASITAS ALIRAN PADA LUBANG PENGISIAN TAMPUNGAN DI BAWAH SALURAN DRAINASI (*UNDERDRAIN BOX STORAGE*)

Yudo Tri Kuncoro[1], Dian Sisinggih[2], Dwi Priyantoro[2]
[1]Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya
[2]Dosen Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya

Abstrak: *Tulisan ini membahas hasil penelitian terhadap suatu model fisik saluran drainasi dimana pada bagian dasarnya diberi lubang-lubang yang disusun seri sepanjang saluran sebagai fungsi untuk mengisi ruang penampungan di bawahnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan formulasi kapasitas aliran melalui lubang pengisian tampungan di bawah saluran drainasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlu adanya koreksi terhadap koefisien debit dari formulasi kapasitas aliran untuk perhitungan aliran melalui lubang pengisian tampungan di bawah saluran drainasi. Formulasi kapasitas aliran melalui lubang pengisian underdrain box storage dapat didekati dengan kurva-kurva hubungan antara bilangan-bilangan tak berdimensi yang dibentuk, yaitu hubungan antara Fr (Froude) dengan* $Q^2/(h_1^5.g)^{1/2}$ *dan antara Fr dengan* a/h_1^2.

Kata kunci: *uji model fisik, kapasitas aliran, ruang penampungan.*

Abstract: *This paper discusses the results of a physical modelling of drainage channel where the holes at the bottom were arranged along the channel to fill the storage underneath. This research could be the initial step to get a formulation of flow capacity through drainage channel's orifice, and expected to push further research. The results show that it is necessary take corrections to the formulation of flow through an orifice of tank in order to estimate flow through an orifice with horizontal flow. Formulation of flow capacity through orifice with horizontal flow above can be approximated by the relationship curves between Fr (Froude) and* $Q_2 / (h_1^5.g)^{1/2}$ *as well as between Fr and* a/h_1^2.

Keywords: *physical modelling, flow capacity, underdrain box storage.*

Konsep drainasi konvensional yang banyak diterapkan di hampir seluruh pelosok wilayah saat ini mulai banyak dievaluasi. Apabila konsep ini dilakukan pada semua kawasan akan memunculkan berbagai masalah, baik di daerah hulu, tengah, maupun hilir. Belum banyak dipikirkan apa yang akan terjadi di bagian hilir, jika semua air hujan dialirkan secepat-cepatnya ke sungai tanpa diupayakan agar air mempunyai waktu cukup untuk meresap ke dalam tanah. Sungai-sungai akan menerima beban yang melampaui kapasitasnya, sehingga meluap atau terjadi banjir. Demikian juga mengalirkan air secepatnya akan menurunkan kesempatan bagi air untuk meresap ke dalam tanah.

Konsep baru yang mulai banyak dikembangkan adalah drainasi berwawasan lingkungan (*eco-drainage*) yang berorientasi konservasi sumberdaya alam. Upaya kelestarian yang dimaksud dalam hal ini adalah bahwa air hujan yang jatuh dipermukaan tanah tidak langsung dialirkan ke saluran drainase menuju ke sungai, namun air hujan tersebut sebagian dikendalikan agar meresap ke dalam tanah sebagai imbuhan airtanah.

Pada aliran zat cair melalui lubang terjadi kehilangan tenaga yang menyebabkan beberapa parameter aliran akan lebih kecil dibanding pada aliran zat cair ideal. Hal ini ditunjukkan dengan oleh beberapa koefisien, yaitu koefisien kontraksi, koefisien kecepatan dan koefisien debit. Nilai koefisien-koefisien tersebut tergantung pada luas tampang lubang, bentuk dari sisi lubang, tinggi energi dan debit. Rumusan tersebut merupakan konsepsi aliran melalui lubang pada tangki dengan permukaan air yang diam.

Pada konstruksi *underdrain box storage,* kondisi muka air di atas lubang pengisian yang berada di dasar saluran adalah bergerak. Hal ini memungkinkan terjadi perbedaan kecepatan sehingga akan memberikan nilai debit yang berbeda, walaupun dimensi lubang adalah sama. Artinya akan ada koreksi debit akibat aliran horisontal.

Pengujian dengan model fisik dimaksudkan untuk mengetahui:

1. Apakah besarnya debit aliran yang melalui masing-masing lubang pengisian sama?
2. Bagaimana formulasi pendekatan debit aliran yang melalui lubang pengisian *underdrain box storage*?
3. Bagaimana contoh aplikasi dari model *underdrain box storage*?

LANDASAN TEORI

Underdrain Box Storage

Underdrain Box Storage merupakan konsep drainasi ramah lingkungan yang dikemukakan oleh Ir. Dwi Priyantoro, MS, dosen pengajar Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Konsep teknisnya adalah bahwa genangan air hujan dialirkan melalui saluran terbuka dimana pada bagian dasarnya diberi lubang-lubang yang disusun berseri sepanjang saluran sebagai fungsi untuk mengisi ruang penampungan, dimana bagian dasar ruang penampungan berhubungan langsung dengan tanah (periksa Gambar 1).

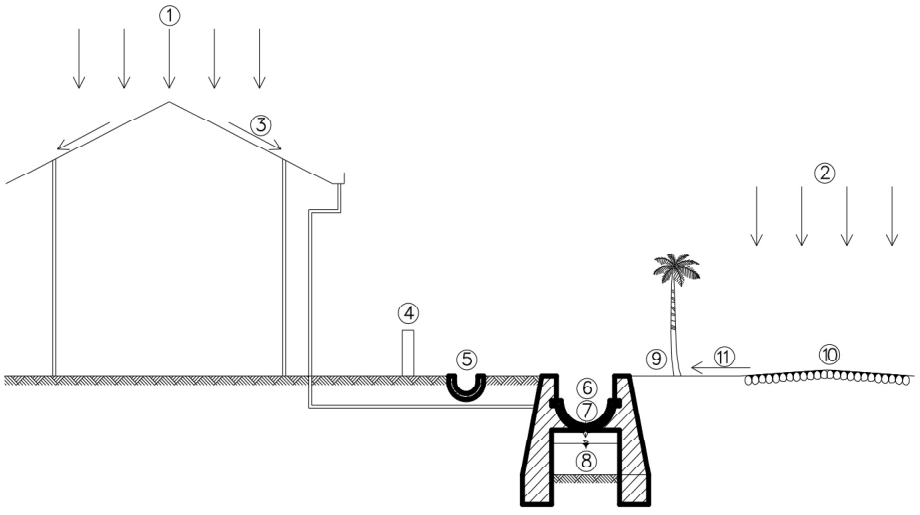
Konstruksi *Underdrain Box Storage* terdiri atas saluran pembuang air hujan, *vertical drain hole*, *box storage* dan saluran pembuang limbah domestik (*sewerage system*). Saluran pembuang air hujan berfungsi menerima limpasan permukaan akibat genangan air hujan. *Vertical drain hole* berfungsi untuk meneruskan limpasan air hujan ke dalam *box storage*. Sedangkan *box storage* difungsikan sebagai *long storage* yang menampung limpasan air hujan selanjutnya meresapkan air secara alamiah ke dalam tanah. Pada sistem ini saluran limbah domestik ditempatkan terpisah dari saluran air hujan.

Secara umum persyaratan dari konstruksi dari konsep drainasi ini adalah sebagai berikut:

1. Saluran air hujan ditempatkan terpisah dari saluran air limbah,
2. Konstruksi ini dibuat dari bahan beton bertulang pracetak atau kombinasi antara pasangan batu dan beton bertulang pracetak,
3. Saluran utama diberi lubang berbentuk bulat pada bagian dasarnya,
4. Dalam penerapannya diperlukan pemeliharaan berkala, agar dapat tetap berfungsi dengan baik.

Aliran Melalui Lubang

Partikel zat cair yang mengalir melalui lubang berasal dari segala arah. Karena zat cair mempunyai kekentalan maka beberapa partikel yang mempunyai lintasan membelok akan mengalami kehilangan tenaga. Setelah melewati lubang, pancaran air akan mengalami kontraksi, yang ditunjukkan oleh penguncupan aliran. Kontraksi maksimum terjadi pada suatu tampang sedikit di sebelah hilir lubang, dimana pancaran kurang lebih horisontal. Tampang dengan kontraksi maksimum tersebut dikenal dengan vena kontrakta (periksa Gambar 2).



Gambar 1 Konsep *Underdrain Box Storage System*

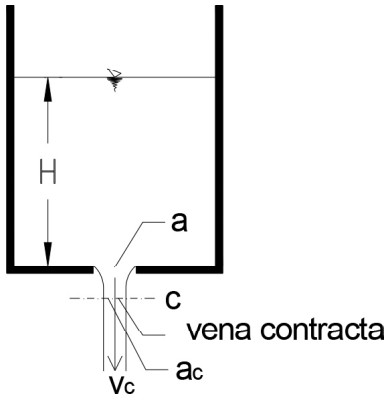
Keterangan:

1. Curah hujan yang jatuh di atap,
2. Curah hujan yang jatuh di lahan,
3. Aliran dari atap menuju talang,
4. Pagar rumah,
5. Saluran pembuang limbah domestik,
6. Saluran pembuang air hujan,
7. Lubang drainasi vertikal (*vertical drain hole*),
8. Ruang tampungan (*box-storage*),
9. Bahu jalan,
10. Badan jalan,
11. Limpasan permukaan.

Pada aliran zat cair melalui lubang terjadi kehilangan tenaga yang menyebabkan beberapa parameter aliran akan lebih kecil dibanding pada aliran zat cair ideal yang dapat ditunjukkan oleh beberapa koefisien, yaitu koefisien kontraksi, koefisien kecepatan dan koefisien debit.

Koefisien kontraksi (C_c) adalah perbandingan antara luas tampang aliran pada vena kontrakta (a_c) dan luas lubang (a) yang sama dengan tampang aliran zat cair ideal.

$$Cc = a_c/a \quad (1)$$



Gambar 2. Vena Kontrakta pada Aliran Melalui Lubang di Bawah Tangki

Besarnya koefisien kontraksi tergantung pada tinggi energi, bentuk dan ukuran lubang, dengan nilai reratanya adalah sekitar $C_c = 0{,}64$.

Perbandingan antara kecepatan nyata aliran pada vena kontrakta (V_c) dan kecepatan teoritis (V) dikenal dengan koefisien kecepatan (C_v).

$$Cv = Vc/V \quad (2)$$

Nilai koefisien kecepatan tergantung pada bentuk sisi lubang (lubang tajam atau dibulatkan) dan tinggi energi. Nilai rerata koefisien kecepatan adalah $C_v = 0{,}97$.

Koefisien debit (C_d) adalah perbandingan antara debit nyata dengan debit teoritis:

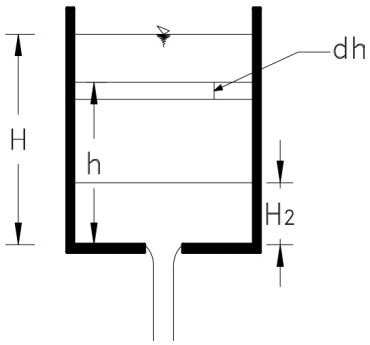
$$C_d = \frac{\text{debit nyata}}{\text{debit teoritis}} =$$

$$C_d = \frac{V_c}{V} \times \frac{a_c}{a}$$

$$C_d = C_v \times C_c \quad (3)$$

Nilai koefisien debit tergantung pada nilai C_c dan C_v yang nilai reratanya adalah 0,62.

Dipandang suatu tangki dengan tampang lintang seragam A, yang mengalirkan zat cair melalui lubang dengan luas a yang terletak pada dasarnya seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Aliran Melalui Lubang di Bawah Tangki

Pada suatu permukaan zat cair di dalam tangki adalah pada ketinggian h di atas lubang, maka kecepatan aliran pada saat tersebut adalah:

$$v = C_v\sqrt{2gh} \quad (4)$$

Dan debit aliran adalah:

$$Q = C_d a\sqrt{2gh} \quad (5)$$

Koefisen debit pada lubang bebas pada dasarnya dapat dianggap sama dengan lubang tenggelam. Harga koefisien debit tergantung pada bentuk dan kondisi lubang. Untuk lubang dengan bentuk penampang bulat (*rounded*) dengan ujung sisi tipis sebagaimana Gambar 4 berikut, maka kecepatan pada bagian ab adalah (Cauvin dan Guerre, 1986: 107):

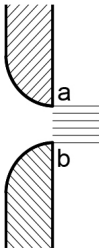
$$v = Cd\sqrt{2gh} \quad (6)$$

Nilai Cd adalah 0,98, sehingga debit yang melalui lubang tersebut adalah:

$$Q = 0{,}98a\sqrt{2gh} \quad (7)$$

dengan:

Q : debit yang melalui lubang (m^3/det)
a : luas lubang (m^2)
g : percepatan gravitasi (m/det^2)
h : tingi muka air di atas lubang (m)
v : kecepatan aliran melalui lubang (m/det)
C_d : koefisien debit.



Gambar 4 Aliran pada Lubang dengan Bentuk Penampang Bulat

Analisis Dimensi

Analisis dimensi menggunakan Metode Matriks Langhaar (Vries, 1997: 16) memberikan bilangan-bilangan tak berdimensi, yang menyatakan parameter aliran yang perlu untuk dikaji lebih lanjut pada penelitian, yaitu:

$$\Pi_1 = \frac{Q_2}{\sqrt{h_1^5 . g}} \qquad \Pi_3 = \frac{a}{h_1^2}$$

$$\Pi_2 = \frac{v_1}{\sqrt{h_1 . g}} \qquad \Pi_4 = \frac{Q_1}{\sqrt{h_1^5 . g}} = \frac{v_1}{\sqrt{h_1 . g}}$$

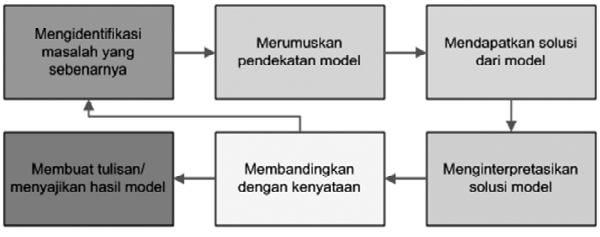
dengan:

Q_1 : debit yang melalui saluran (m^3/det)
Q_2 : debit yang melalui lubang (m^3/det)
h_1 : tinggi muka air di atas saluran (m)
v_1 : kecepatan air di saluran (m/det)
a : luas lubang (m^2)
g : percepatan gravitasi (m/det^2)

LANGKAH PERCOBAAN

Suatu gagasan pengembangan ide membuat bangunan alternatif untuk menyelesaian persoalan tertentu yang tidak terlingkup dalam kebakuan acuan perlu dilakukan pengkajian melalui suatu langkah pemodelan.

Aktivitas pemodelan merupakan proses yang melibatkan tahapan-tahapan yang jelas dan terindentifikasi. Penyelesaian persoalan pemodelan mengikuti tahapan sebagaimana diagram alir sebagaimana disajikan pada Gambar 5 (Edward dan Hamson: 1989: 44).



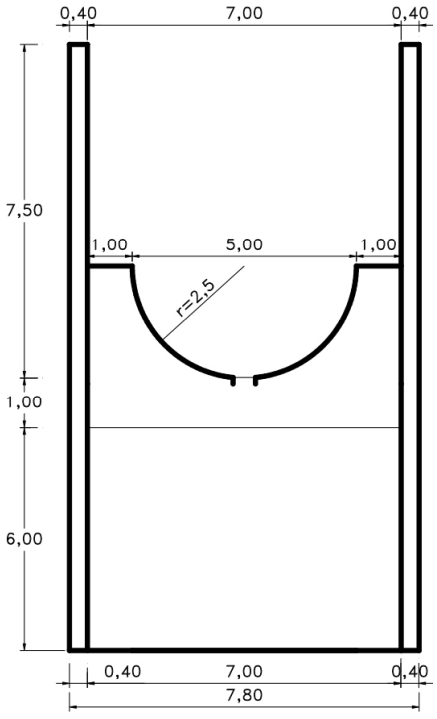
Gambar 5. Tahapan-Tahapan dalam Membuat Model

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Dasar Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Model fisik terdiri atas saluran dengan lubang pada dasarnya yang dipasang secara berseri dan dibawahnya terdapat ruang penampungan, dibuat dengan ukuran tidak sama dengan ukuran di lapangan (*non scale*).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan yang tersedia pada Laboratorium Hidrolika Dasar Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan beberapa peralatan yang dibuat sendiri sesuai dengan keperluan penelitian. Peralatan tersebut meliputi:

1. Saluran percobaan *underdrain box storage*, yang ditempatkan pada *flume* (*open channel*). Bentuk saluran peraga adalah sebagaimana disajikan pada Gambar 6.
2. Meteran taraf (*point gauge*).
3. Tabung pitot (*pitot tube*).
4. Pompa air.
5. Gelas ukur.
6. *Stopwatch*.

Bagian hulu saluran percobaan dihubungkan dengan alat ukur Thompson. Debit air dialirkan dengan pompa dengan kapasitas maksimum 3 liter/detik. Tinggi muka air di saluran diatur dengan sebuah ambang yang ditempatkan di bagian hilir.



Gambar 6. Bentuk Saluran Peraga

Keterangan: satuan dalam cm.

Penelitian dilakukan dengan tahapan kegiatan sebagai berikut:

1. Kalibrasi terhadap alat ukur debit dan alat ukur kecepatan untuk mendapatkan ketelitian operasi debit percobaan.
2. Memasang perangkat penelitian pada *flume*, dengan menetapkan diameter lubang tertentu (d), jarak antar lubang (L), sesuai rancangan yang ditetapkan.
3. Percobaan dilakukan dengan mengalirkan debit (Q_1) tertentu dengan beberapa variasi ketinggian muka air (h_1) dan jarak penempatan lubang (L).
4. Dengan melakukan pengukuran volume air yang masuk ke dalam ruang penampungan (V) serta waktu yang diperlukan sampai tampungan penuh (t), akan dapat diketahui besarnya debit yang melalui lubang pengisian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Thompson

Kalibrasi alat ukur Thompson bertujuan memberikan ketelitian yang lebih baik dari persamaan teoritis alat ukur Thompson:

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

dengan:

Q = debit (m^3/menit)
k = koefisien debit
h = ketebalan air di mercu (m)

Dari hasil kalibrasi didapatkan lengkung kalibrasi alat ukur Thompson yang baru adalah: $Q = 1.264h^{2.422}$

Kalibrasi Pitot

Alat ukur pitot dikalibrasi untuk mendapatkan persamaan kecepatan yang sesuai dengan kondisi tabung saat ini.

Koreksi akan diberikan terhadap nilai koefisien pitot (Cp) dari persamaan pitot yang ada yaitu:

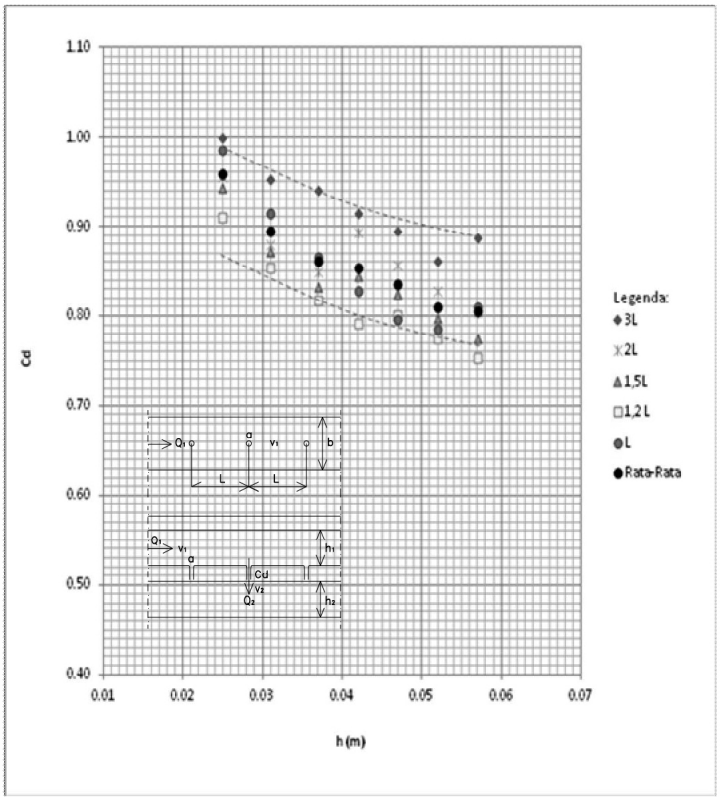
$$v = Cp.\sqrt{2.g.\Delta h}$$

Hasil percobaan mendapatkan persamaan hubungan antara Dh dengan Cp, yaitu : $Cp = 1{,}830\Delta h^{0{,}144}$

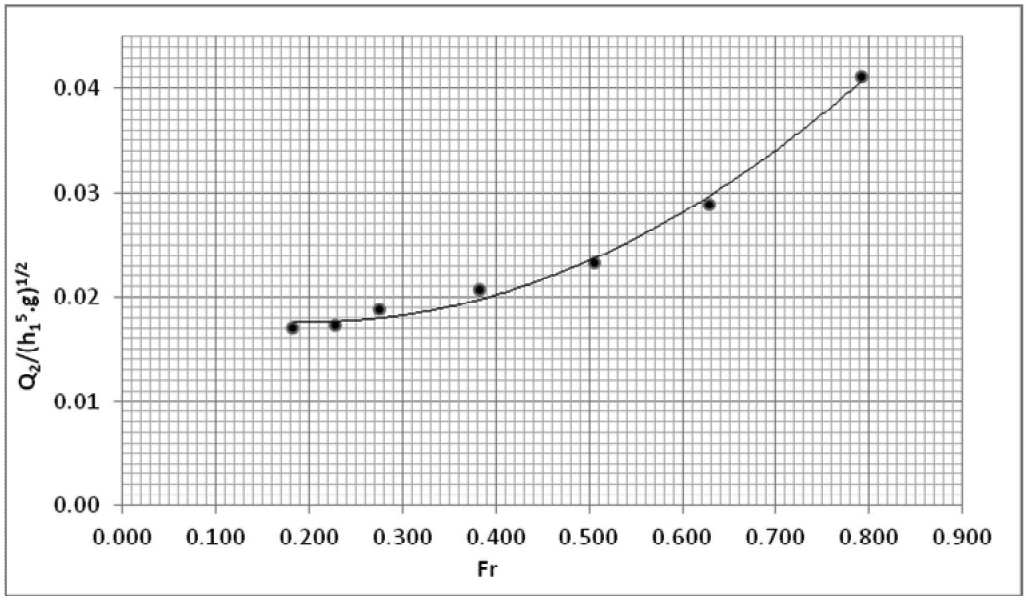
Koefisien Debit Lubang (Cd)

Pada saat melewati lubang aliran air mengalami kontraksi, yang ditunjukkan oleh penguncupan aliran. Karena pengaruh kecepatan aliran di saluran maka arah aliran yang melalui lubang tidak tegak lurus melainkan membentuk sudut tertentu.

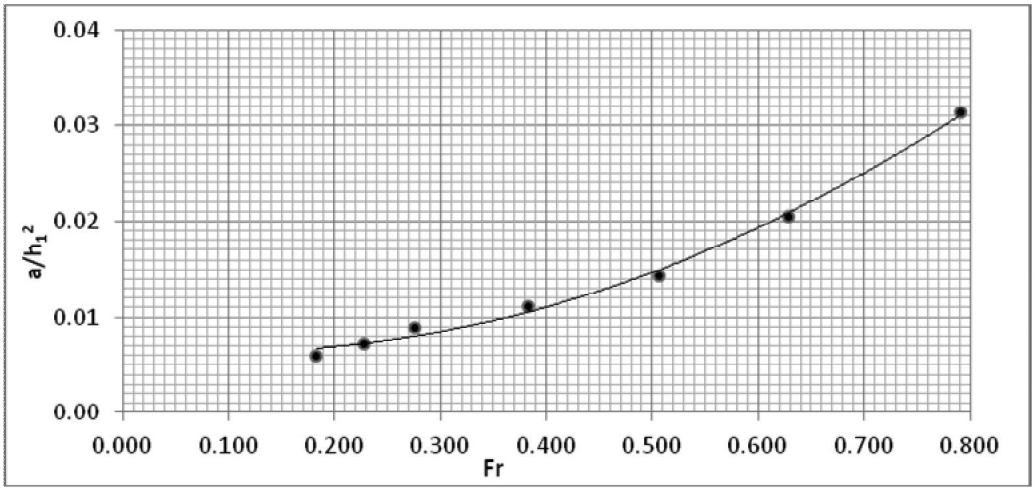
Koefisien debit aliran melalui lubang pengisian hasil percobaan bernilai rata-rata antara 0,806 sampai 0,958, yang artinya mempunyai beda yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan koefisien aliran melalui lubang pada tangki diam (periksa Gambar 7).



Gambar 7. Hubungan antara Tinggi Muka Air (h) dengan Koefisien Debit (Cd)



Gambar 8. Hubungan antara Fr dengan $Q_2/(h_1^5.g)^{1/2}$



Gambar 9. Hubungan antara Fr dengan a/h_1^2

Hubungan antara antara bilangan-tak berdimensi

Sesuai dengan analisis dimensi yang telah dilakukan maka dapat dibuat suatu kurva hubungan antara variabel-variabel tak berdimensi (periksa Gambar 8 dan Gambar 9). Penarikan garis regresi dilakukan dengan bantuan program komputer. Koefisien korelasi dipakai untuk pengambilan keputusan.

Analisis Kurva Hubungan Antara Variabel-Variabel Tak Berdimensi

Bentuk kurva hubungan antar variabel ditentukan berdasarkan jumlah data hasil penelitian dan diagram pencar dalam sistem koordinat.

Untuk mengetahui kuat tidaknya hubungan dua variabel atau lebih ditunjukkan oleh koefisien korelasi (r).

Makin kuat hubungan tersebut, nilai korelasi makin mendekati harga 1 atau -1 dan sebaliknya. Sedangkan untuk mengetahui besarnya pengaruh variabel bebas terhadap variabel tetapnya maka digunakan koefisien determinasi (r2).

Berdasarkan analisis statistik, maka model regresi yang memberikan hasil lebih baik adalah:

- Hubungan Antara Fr dengan $Q_2/(h_1^5.g)^{1/2}$ (periksa juga Gambar 8):
  $Q^2/(h_1^5.g)^{1/2} = 0{,}053Fr^2 - 0{,}016Fr + 0{,}018$
  dengan koefisien korelasi (r) = 0,998 dan koefisien determinasi (r^2) = 0,996.

- Hubungan Antara Fr dengan a/h12 (periksa juga Gambar 8):
  $a/h_1^2 = 0{,}039Fr^2 + 0{,}005$
  dengan koefisien korelasi (r) = 0,998 dan koefisien determinasi (r^2) = 0,997.

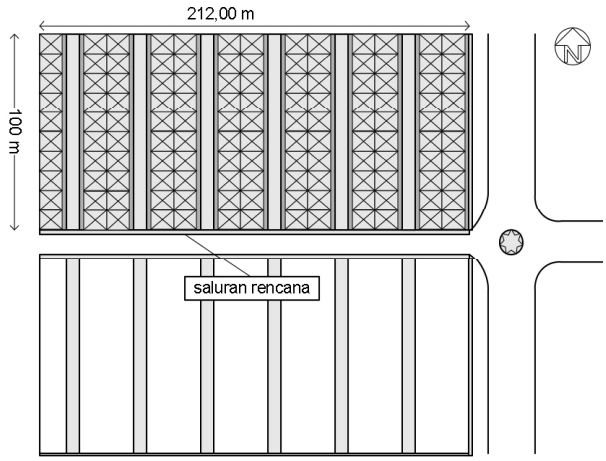
Contoh Penerapan Hasil Penelitian

Untuk mempermudah pemahaman terhadap hasil penelitian, berikut ini diberikan contoh penerapannya untuk penyelesaian permasalahan drainasi.

Permasalahan:

Akan direncanakan saluran drainasi pada sebuah perumahan dengan data-data sebagai berikut:

- Luas daerah pengaliran = 2,25 ha
- Panjang saluran = 212 m
- Kemiringan rerata = 0,007
- Tataguna lahan:
  - Pemukiman = 1,82 ha
  - Jalan = 0,43 ha
- Saluran pembuang limbah rumah tangga dibuat terpisah dengan sistem drainasi ini.



Gambar 10. Denah Rencana Perumahan

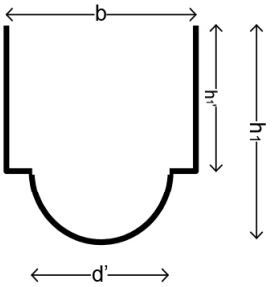
Penyelesaian:

Perhitungan Debit:

- Waktu konsentrasi (tc) hasil perhitungan = 6,82 menit = 0.114 jam
- Intensitas hujan (I) didapat dari rumus Mononobe, sebagai contoh R_{24} kala ulang 5 tahun = 65 mm/jam, didapatkan I = 96,024 mm/jam.
- Koefisien pengaliran rata-rata hasil perhitungan adalah= 0,457.
- Maka besarnya debit air hujan didapat dengan menggunakan persamaan:
  Q_1 = 0,278 x C x I x A
  = 0,274 m^3/det

Perhitungan dimensi saluran:

- Direncanakan bentuk saluran sebagaimana sketsa di bawah.
  b = 0,50 m
  d' = 0,40 m



dengan coba-coba didapatkan:
h_1' = 0,40 m,
sehingga $h_1 = h_1' + (0{,}5 \times d')$
= 0,60 m

Perencanaan lubang:

1. Dengan menggunakan Gambar 6:
   - Bilangan Froude didapat 0,456
   - Dari grafik 6 didapat debit yang melalui lubang Q_2= 0,019 m^3/det
   - Menghitung diameter lubang:

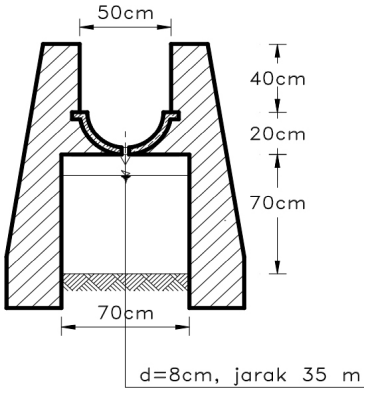
   Dari persamaan $Q_2 = Cd.a\sqrt{2.g.h_1}$ dengan memasukkan nilai Cd sebagaimana Gambar 5 didapatkan luas lubang (a) adalah = 0,007 m^2.
   Sehingga didapatkan diameter lubang (d) adalah = 0,09 m
2. Dengan menggunakan Gambar 7:
   - Dari kurva Gambar 7 dengan Fr = 0,456 didapatkan a/h_1^2 = 0,013
   - untuk h_1 = 0,60 m didapatkan luas lubang (a) = 0,005 m^2.

   Sehingga didapatkan diamater lubang (d) = 0,08 m

Perencanaan ruang penampungan

- Direncanakan dimensi ruang penampungan adalah:
  B = 0,70 m
  h_2 = 0,70 m
- Volume air hujan yang bisa tertampung adalah:
  V = 103,88 m^3
- Waktu yang diperlukan untuk memenuhi tampungan:
  t = 103,88/0,019
  = 5467,39 detik = 1,5 jam
- Untuk mempercepat masuknya air ke dalam tampungan direncanakan waktu pengisian adalah 20 menit, sehingga jumlah lubang yang diperlukan adalah 4,5 buah ~ 5 buah.

- Perhitungan debit air yang meresap:
  Misalnya jenis tanah: lanau, dengan permeabilitas (k) = 4,1 x 10^{-4} cm/det.
  Luas penampang peresapan adalah:
  A_{resap} = 1.484.000 cm^2
  Jumlah air yang meresap ke dalam tanah:
  Q_{resap} = 4,1 x 10^{-4} x 1.484.000
  = 608,44 cm^3/det
  = 6,08 x 10^{-4} m^3/det.
  Dengan demikian debit yang meresap ke dalam tanah, mengurangi debit yang mengalir ke dalam saluran sebesar 6,08 x 10^{-4} m^3/det.
  Apabila terjadi hujan dengan durasi 1 jam, maka volume air hujan yang turun adalah sebesar V_{hujan} = 986,40 m^3, sehingga volume air yang mampu diresapkan oleh *underdrain box storage* pada contoh ini adalah sebesar 10,53%.



Gambar 11. Desain Saluran Drainasi dengan Ruang Penampungan

KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa diambil dari analisis di atas adalah.

Pada saluran dengan beberapa lubang yang dipasang berseri, debit aliran yang melalui masing-masing lubang tidak sama. Besarnya debit yang masuk makin ke hilir makin kecil.

Kapasitas aliran melalui lubang pengisian *underdrain box storage* dapat didekati dengan dua cara, yaitu.

a. Dengan kombinasi kurva hubungan antara Fr dengan $Q^2/h_1^5.g)^{1/2}$ (Gambar 8) dan formulasi aliran melalui curat dengan Cd hasil penelitian (Gambar 7). Koefisien debit dari formulasi kapasitas aliran melalui curat pada dasar tangki $Q = Cd.a\sqrt{2.g.h}$, perlu dikoreksi agar dapat digunakan untuk perhitungan kapasitas aliran melalui lubang pengisian tampungan di bawah saluran drainasi. Koefisien debit (Cd) hasil percobaan bernilai rata-rata antara 0,806 sampai 0,958, yang artinya mempunyai beda yang cukup besar jika dibandingkan dengan koefisien aliran melalui lubang pada tangki yang mempunyai nilai rata-rata 0,62.
b. Dengan kurva hubungan antara Fr dengan a/h_1^2 (Gambar 7).
   Keduanya pendekatan ini memberikan hasil yang relatif hampir sama.

Apabila terjadi hujan selama 1 jam, sistem underdrain box storage hasil perencanaan ini mampu meresapkan air hujan sebesar 10,53% dari total volume air hujan.

SARAN

Mengacu pada hasil penelitian, analisa dan kesimpulan, maka perlu disarankan beberapa hal yaitu.

Sistem *underdrain box storage* akan lebih efektif jika diterapkan untuk *lateral drain* misalnya pada perumahan, dengan kondisi topografi datar dan tidak terpengaruh pasang surut.

Mengingat ada unsur ketidakpastian pada fenomena aliran yang terjadi, serta untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan penelitian pada dimensi saluran yang lebih besar.

Agar didapatkan hasil dengan tingkat kepercayaan yang lebih tinggi, sebaiknya untuk penelitian serupa digunakan alat-alat penunjang penelitian yang mempunyai tingkat ketelitian yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Cauvin, A., dan Guerree, H. 1986. *Elements D'Hydrauliq*. Paris: 61 Boulevard Saint-Germain

Edwards, D., Hamson, M. 1989. *Guide to Mathematical Modelling*. London: Macmillan Education Ltd.

De Vries, M. 1977. *Scale Models In Hydraulics Engineering*. Delf: International Institute For Hydraulic and Environmental Engineering.