

# **PENERAPAN *UB-DRAINAGE (UNDERDRAIN BOX STORAGE)* UNTUK MEREDUKSI GENANGAN DAN MENINGKATKAN RESAPAN AIR DI KAMPUS UB**

**Dwi Priyantoro<sup>1)</sup>, Pitojo Tri Juwono<sup>1)</sup>, Suhardjono<sup>1)</sup>, M. Janu Ismoyo<sup>1)</sup>,  
Linda Prasetyorini<sup>1)</sup>, Eko Suryo Pranoto<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Staf Pengajar, Jurusan Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya, Malang

<sup>2)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya, Malang

**Abstrak:** *Underdrain Box Storage* merupakan salah konsep drainase berwawasan lingkungan (*eco-drainage*) yang dapat dikembangkan untuk suatu permukiman yang padat (*perkampungan di perkotaan*). Konsep teknis drainase yang dikemukakan ini 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.

Konstruksi *Underdrain Box Storage* terdiri atas saluran pembuang air hujan, *vertical drain hole*, dan *box storage*. 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. .

Dari hasil penelitian yang dilakukan di kawasan kampus Universitas Brawijaya Dengan adanya sistem *UB - Drainage* ini, mampu menampung aliran permukaan di seluruh kampus Universitas Brawijaya dalam *long storage*. Selain itu dengan penerapan sistem drainase ini dengan dimensi saluran drainase eksisting yang dimodifikasi menjadi *UB-drainage* mampu mengurangi beban drainase di Jl. Yogyakarta (*Veteran*) sebesar 83,34%. Resapan yang mampu dihasilkan dengan diterapkannya *UB-Drainage* ini adalah sebesar 5 % untuk sekali hujan dalam 1 jam. Dengan memperhatikan pola hari hujan dan durasinya selama 5 tahun terakhir di lingkungan kampus UB, maka setiap kali musim hujan sistem *UB-Drainage* ini mampu memberikan sumbangan resapan air sebesar 45 %.

**Kata kunci:** *underdrain box storage, limpasan, reduksi, resapan*

**Abstract:** *Underdrain Box Storage* is one of the conservation drainage (*eco-drainage*) that can be developed for a dense residential (*urban villages*). Surface runoff flows into the drainage channel and the bottom where the holes are arranged along the channel as a storage function, where the base of the shelter space in direct contact with the soil is the one concept offered.

Construction *Underdrain Box Storage* consists of open channel, vertical drain hole, and box storage. The function of open channel is received runoff in the area. Vertical drain hole is continuing drain water runoff into the box storage. And the box storage as long storage is hold runoff to fill and absorb into the ground naturally. In addition, the application of underdrain box storage is reduced runoff in Jl. Yogyakarta (*Veteran*) until 83,34%. This system is capable to provide infiltration until 5% for on ce rainfall within 1 hour. By considering the pattern of rainfall and its duration during the last 5 years in the UB campus, then every time the rainy season *UB-Drainage* system is able to contribute water infiltration by 45%.

**Keywords:** *underdrain box storage, run-off, reduced, infiltration*

Konsep drainasi konvensional yang secara umum diterapkan di hampir seluruh pelosok wilayah saat ini mulai banyak dievaluasi. Apabila konsep ini dilakukan pada semua kawasan, akan memunculkan berbagai masalah baru, baik di daerah hulu, tengah, maupun hilir. Jika semua air hujan dialirkan secepat-cepatnya

ke sungai tanpa diupayakan agar air mempunyai waktu cukup untuk meresap ke dalam tanah, semakin lama akan berakibat fatal karena sungai-sungai akan menerima beban yang melampaui kapasitasnya, sehingga meluap atau terjadi banjir.

Beberapa konsep baru mulai banyak dikembangkan pada dekade ini adalah drainase berwawasan lingkungan (*eco-drainage*) yang berorientasi pada konservasi sumber daya air. Upaya kelestarian yang dimaksud dalam hal ini adalah air hujan yang jatuh di permukaan tanah tidak langsung dialirkan oleh saluran drainase menuju sungai, akan tetapi sebagian dikendalikan agar dapat meresap ke dalam tanah sebagai imbuhan (*recharge*) airtanah.

Pembuatan tampungan air sementara (*boezem*) di kawasan perkotaan saat ini akan menemui banyak kendala mengingat pembangunan *boezem* memerlukan pembebasan lahan yang luas. Sedangkan pembuatan sumur resapan pada pemukiman penduduk seringkali terhambat oleh faktor ketersediaan ruang, estetika, dan dimensi yang relatif besar jika diterapkan pada tanah yang mempunyai nilai koefisien permeabilitas (*k*) yang relatif kecil. Selain itu untuk suatu permukiman yang padat hampir dipastikan penerapan pembuatan sumur resapan akan sulit dilaksanakan.

Adanya konsep pemikiran baru tentang sistem drainase berwawasan lingkungan yaitu *underdrain box storage* diharapkan dapat mengatasi permasalahan genangan tanpa mengganggu peruntukan ruang yang telah ada.

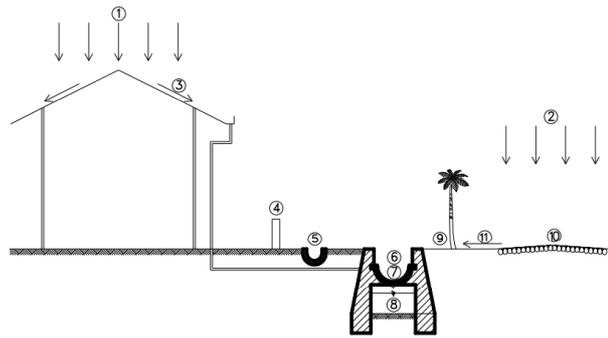
## LANDASAN TEORI

### Konsep Underdrain Box-Storage

*Underdrain Box Storage* merupakan konsep drainasi berbasis konservasi yang didasari oleh pengembangan sistem drainase yang telah ada, diantaranya drainase sumur resapan, saluran air hujan pracetak berlubang, dan drainase *swale*.

Konsep teknis drainase adalah limpasan air hujan (*run off*) dialirkan melalui saluran terbuka (*open channel drainage*) yang pada bagian dasarnya diberi lubang-lubang disusun berseri sepanjang saluran sebagai fungsi untuk mengisi ruang penampungan (*long storage*) dimana bagian dasar ruang penampungan berhubungan langsung dengan tanah.

Konstruksi *Underdrain Box Storage* terdiri atas saluran pembuang air hujan, *vertical drain hole*, dan *boxstorage*. Saluran pembuang air hujan berfungsi menerima limpasan permukaan akibat genangan air hujan. *Vertical drain hole* berfungsi untuk meneruskan limpasan air hujan ke dalam *boxstorage*. Sedangkan *boxstorage* 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.



Gambar 1. Konsep *Underdrain Box Storage*

Keterangan:

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

### Intensitas Hujan/Rainfall Intensity

Intensitas curah hujan (*I*) menyatakan besarnya curah hujan dalam periode tertentu yang dinyatakan dalam satuan mm/jam. Untuk menghitung intensitas hujan dapat ditempuh dengan rumus empiris, diantaranya adalah rumus Mononobe, karena dapat digunakan untuk waktu *t* sembarang

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{tc} \right)^{2/3}$$

dengan:

- I* = Intensitas curah hujan rerata dalam *T* jam (mm/jam)  
*R*<sub>24</sub> = Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)  
*t*<sub>c</sub> = Waktu konsentrasi (jam)

### Analisa Debit Limpasan

Analisa debit limpasan terdiri dari limpasan lahan, limpasan atap, dan limpasan dari jalan.

#### 1. Limpasan Lahan

Analisa limpasan lahan menggunakan rumus metode rasional modifikasi.

$$Q_{\text{lahan}} = 0,00278 \cdot Cs \cdot C.I.A$$

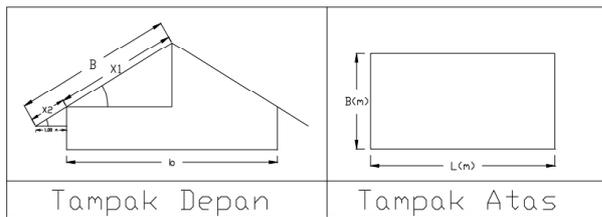
dengan:

- Q* = Debit limpasan lahan (m<sup>3</sup>/dt)  
*I* = Intensitas hujan rata-rata (mm/jam)

- A = Daerah tangkapan (ha)
- C = Koefisien pengaliran
- Cs = Koefisien tampungan
- $\frac{2tc}{2tc+td}, t_d$  = waktu pengaliran (jam)

2. Limpasan Melalui Atap

Limpasan melalui atap dihitung berdasarkan bentuk atap yang ada. Pada kasus ini mayoritas jenis atap yang digunakan adalah model pelana dengan bentang atap terdiri dari dua buah bidang jajaran genjang dengan kemiringan tertentu terhadap bidang datar.



Gambar 2. Sketsa Atap Model Pelana

Untuk menentukan besarnya debit yang melalui atap dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_{\text{atap}} = 0,00278 \times C_{\text{Atap}} \times Cs \times I \times A$$

dengan:

- A = Luas bidang atap (m<sup>2</sup>)
- = (L x B) x 2

B dihitung berdasarkan kemiringan atap terhadap bidang datar:

$$B = X_1 + X_2$$

dengan:

$$X_1 = (0,5 \times b) \times \cos \alpha \text{ dan } X_2 = l \times \cos \alpha,$$

maka

$$B = (0,5 \times b) \times \cos \alpha + l \times \cos \alpha$$

$$B = ((0,5 \times b) + l) \times \cos \alpha$$

Sehingga

$$A = (((0,5 \times b) + l) \times \cos \alpha) \times L \times 2$$

- L = panjang bidang (m)
- B = lebar bidang (m)
- alpha = sudut kemiringan atap (°)

3. Limpasan Jalan Raya

Daerah tangkapan hujan pada perencanaan saluran samping jalan adalah daerah yang menerima curah hujan selama waktu tertentu sehingga menimbulkan debit yang harus ditampung oleh saluran samping untuk dialirkan ke saluran drainase.

Untuk menentukan besarnya debit yang melalui atap dapat dihitung dengan rumus berikut :

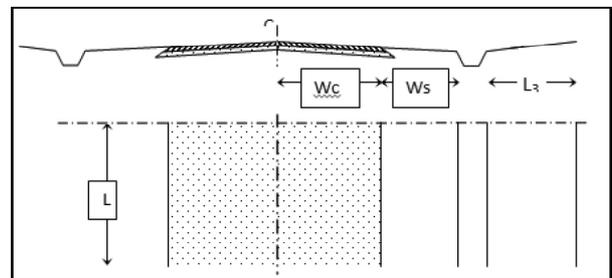
$$Q_{\text{Jalan}} = 0,00278 \times n_{\text{eq}} \times Cs \times I \times A$$

Nilai koefisien kekasaran untuk badan dan bahu jalan ( $n_{\text{eq}}$ ) persamaan menjadi:

$$n_{\text{eq}} = \frac{[(W_s \cdot n_s^2 + W_c \cdot n_c^2)]^{1/2}}{(W_s + W_c)^{1/2}}$$

dengan:

- Wc = lebar badan jalan (m)
- $n_c$  = Kekasaran manning badan jalan
- Ws = lebar bahu jalan (m)
- $n_s$  = Kekasaran manning bahu jalan
- $L_r$  = lebar bahu dan badan jalan yang dianalisa (m)



Gambar 3. Penampang Melintang Jalan

Sehingga persamaan waktu konsentrasi (di badan dan bahu jalan) menjadi:

$$t_c = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times L_r \frac{n_{\text{eq}}}{\sqrt{S_a}} \right)^{0,167}$$

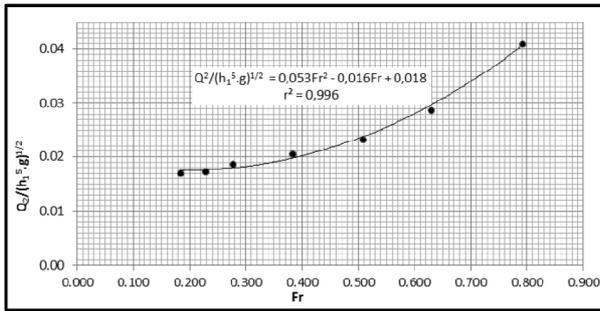
dengan:

- $t_c$  = waktu inlet/konsentrasi (menit)
- $L_r$  = panjang aliran di badan dan bahu jalan (m)
- $n_{\text{eq}}$  = koefisien hambatan permukaan ekuivalen
- $S_a$  = kemiringan muka air

**Perencanaan Dimensi Underdrain Box Storage (Hubungan Antara Variabel-Variabel Tak Berdimensi)**

Penelitian pendukung dalam menentukan hubungan antara variabel-variabel tak berdimensi 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*). Hasil penelitian sebelumnya ini menghasilkan:

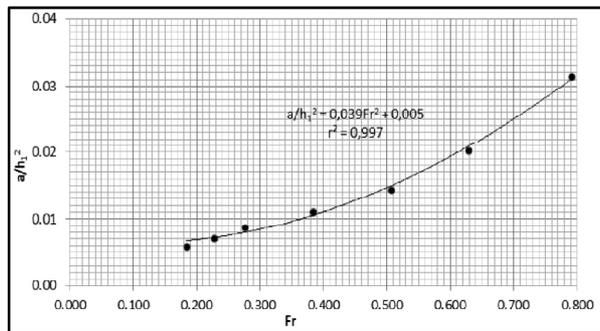
1) Grafik Hubungan Antara Fr dengan  $Q_2/(h_1^5 \cdot g)^{1/2}$



Gambar 4. Hubungan Antara Fr dengan  $Q_2/(h_1^5 \cdot g)^{1/2}$

Sumber: Kuncoro, Yudo, 2012

2) Grafik hubungan antara Fr dengan  $a/h_1^2$



Gambar 5. Hubungan Antara Fr dengan  $a/h_1^2$

Sumber: Kuncoro, Yudo, 2012

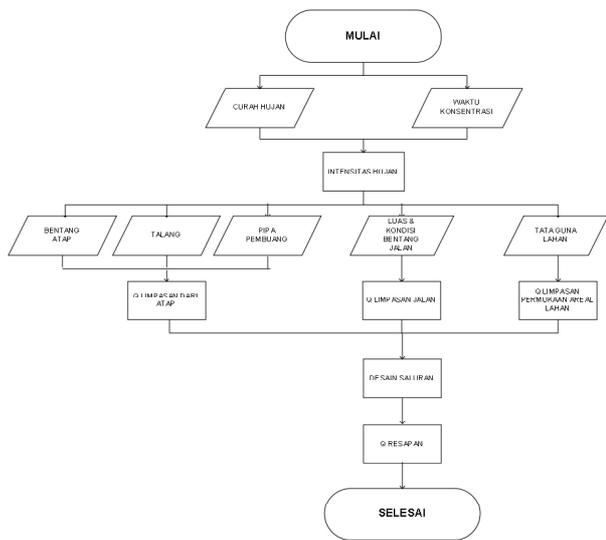
METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan analisa dalam penelitian secara garis besar adalah sebagai berikut:

- a) Analisa Hidrologi
  - Mencari curah hujan maksimum setiap tahun dari tahun 2001 – 2011 pada stasiun hujan Laboratorium Hidrologi.
  - Menghitung curah hujan maksimum dengan metode *Log pearson* tipe III.
  - Menguji kebenaran hipotesa dengan metode *Smirnov Kolmogorov* dan uji *Chi-square*.
- b) Perhitungan Debit Rancangan
  - Menentukan intensitas curah hujan dengan rumus *Mononobe*.
  - Menentukan luas daerah pengaliran
  - Menentukan koefisien pengaliran (C) berdasarkan lahan yang ada di kampus UB
  - Menghitung debit air hujan yang jatuh dari atap.
  - Menghitung debit limpasan air hujan dari jalan
  - Menghitung debit limpasan air hujan dengan metode rasional areal penelitian.

- Menghitung debit rancangan saluran drainase.
- c) Analisa Kapasitas Saluran Drainase
  - Menentukan kapasitas saluran drainase eksisting.
  - Menghitung volume genangan yang terjadi
  - Mengevaluasi kemampuan kapasitas saluran drainase eksisting dengan debit rancangan 5 dan 10 tahun.
- d) Rekomendasi Penanggulangan Genangan
 

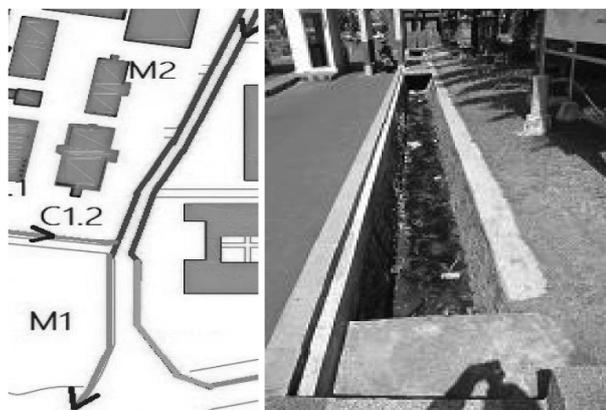
Rekomendasi yang diberikan sebagai alternatif penanggulangan genangan yaitu dengan penerapan *Underdrain Box Storage*.



Gambar 6. Skema Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

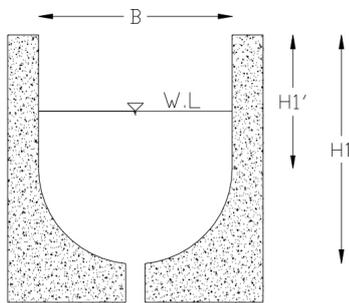
Rencana desain *underdrain box storage* dicoba pada Kampus Universitas Brawijaya (saluran drainase di depan Fakultas Kedokteran M1).



Gambar 7. Kondisi saluran M1

- A. Besarnya debit rancangan 5 tahun (atap + jalan + lahan) = 0,645 m<sup>3</sup>/det
- B. Perhitungan dimensi *underdrain box-storage*

Direncanakan bentuk saluran adalah segi empat dengan dasar saluran setengah lingkaran, sehingga didapatkan dimensi saluran sebagai berikut:



**Gambar 8. Dimensi saluran diatas *Box Storage***

$$B_1 = 0,6 \text{ m}$$

$$r = \frac{1}{2} \times B$$

**Perencanaan dimensi saluran:**

- a) Luas penampang aliran:  
 $A_1 = (B_1 \cdot H_1') + (0,5 \cdot \pi \cdot r^2)$   
 $= (0,6 \cdot H_1') + 0,1413$
- b) Penampang basah:  
 $P = (B_1 + (2 \cdot H_1')) + (\pi \cdot r^2)$   
 $= (0,6 + (2 \cdot H_1')) + (0,2826)$
- c) Jari-jari hidrolis:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{(0,6 \cdot H_1') + 0,1413}{(0,6 + (2 \cdot H_1')) + (0,2826)}$$

- d) Kecepatan aliran:

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0,014} \times \left( \frac{(0,6 \cdot H_1') + 0,1413}{(0,6 + (2 \cdot H_1')) + 0,2826} \right)^{2/3} \times (0,006)^{1/2}$$

- e) Debit

$$Q_1 = A \cdot v_1$$

$$0,645 = ((0,6 \cdot H_1') + 0,1413) \cdot \left( \frac{1}{0,014} \times \left( \frac{(0,6 \cdot H_1') + 0,1413}{(0,6 + (2 \cdot H_1')) + 0,2826} \right)^{2/3} \times (0,006)^{1/2} \right)$$

dengan coba-coba didapatkan:  
 $H_1' = 0,412 \text{ m} \approx 0,400$  (Rencana)  
 sehingga  $H_1 = H_1' + (0,5 \times B)$   
 $= 0,412 + (0,5 \times 0,6)$   
 $= 0,712 \text{ m} \approx 0,700$  (Rencana)

Perencanaan lubang pengisian:  
 Dengan menggunakan Grafik Hubungan Antara Fr dengan  $Q_2 / (h_1^5 \cdot g)^{1/2}$  (gambar 4)

- a) Kedalaman hidrolis:

$$D = \frac{A}{T} = \frac{(0,6 \times 0,412) + 0,1413}{0,6}$$

$$= 0,648 \text{ m}$$

- b) Kecepatan aliran:

$$v_1 = 1,659 \text{ m/det}$$

- c) Bilangan Froude:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

$$= \frac{1,659}{\sqrt{9,81 \times 0,648}}$$

$$= 0,658$$

Dari grafik (gambar 4) didapat:

$$\frac{Q_2}{\sqrt{g \cdot h^5}} = 0,031$$

$$Q_2 = 0,041 \text{ m}^3/\text{det}$$

- d) Menghitung diameter lubang:

Dari grafik hubungan antara Fr dengan  $a/h_1^2$  (gambar 5) dengan  $Fr = 0,658$  didapatkan  $a/h_1^2 = 0,022$ . untuk  $h_1 = 0,712 \text{ m}$  didapatkan luas penampang lubang (a) =  $0,011 \text{ m}^2$ . Sehingga didapatkan diameter lubang (d) =  $0,119 \text{ m}$ .

**Perencanaan ruang penampungan (*box storage*):**

*Box storage* selain berfungsi untuk menampung volume air hujan juga berfungsi untuk meresapkan air hujan sehingga dapat mengurangi beban pada *main drain*.

Direncanakan dimensi *Box storage* adalah:

- $B_2 = 1,2 \text{ m}$
- $h_2 = 1,0 \text{ m}$
- $h_2' = 0,9 \text{ m}$

Panjang saluran (L) =  $51 \text{ m}$

Maka volume air hujan yang bisa tertampung adalah:

$$V = B_2 \times h_2' \times L$$

$$= 1,2 \times 0,9 \times 51 = 55,08 \text{ m}^3$$

$$A = B_2 \times h_2'$$

$$= 1,2 \times 0,9 = 1,08 \text{ m}^2$$

$$P = B_2 + 2h_2'$$

$$= 1,2 + (2 \times 0,9) = 3,00 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{1,08}{3,00} = 0,360 \text{ m}$$

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0,022} \times (0,360)^{2/3} \times (0,006)^{1/2}$$

$$= 1,771 \text{ m/det}$$

$$Q_{\text{box}} = A \times v$$

$$= 1,08 \times 1,771 = 1,913 \text{ m}^3/\text{det}$$

Waktu yang diperlukan untuk memenuhi tampungan:

$$t = \frac{V}{Q_2}$$

$$= \frac{55,08}{0,041}$$

$$= 1343,006 \text{ det} = 0,373 \text{ jam}$$

Untuk mempercepat masuknya air ke dalam tampungan direncanakan waktu pengisian adalah 5 menit, sehingga jumlah lubang yang diperlukan adalah 5 buah lubang.

#### Perhitungan debit air yang meresap:

Jenis tanah di lokasi perencanaan adalah lanau, dengan nilai permeabilitas ( $k$ ) =  $7,83 \times 10^{-4}$  cm/det. Perhitungan jumlah resapan yang masuk ke dalam tanah dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_0 = f.L.K.H$$

$$= 1,2.55,08.7,83 \times 10^{-4}. 0,9$$

$$= 0,00043 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$t_{\text{Resapan}} = \frac{V}{Q_0}$$

$$= \frac{55,08}{0,00043}$$

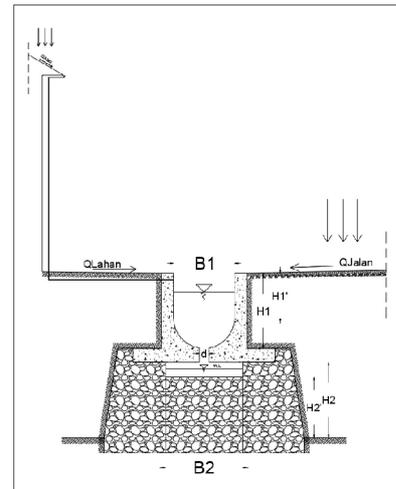
$$= 127713,9208 \text{ det} = 35,4761 \text{ jam}$$

$$V_{\text{Resapan}} = \frac{Q_0}{A}$$

$$= \frac{0,00043}{1,08}$$

$$= 0,00040 \text{ m/det}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa penggunaan *Underdrain Box Storage* pada saluran M1 mampu mereduksi debit limpasan 75% dari debit rancangan yang digunakan dalam 4 kali hujan. Untuk penggunaan dalam satu kampus Universitas Brawijaya, dalam hal ini debit limpasan yang mengalir kearah jalan veteran mampu mereduksi sebesar 83,340 % dari debit total limpasan yang direncanakan.



**Gambar 9. Potongan melintang Underdrain Box Storage**

#### KESIMPULAN

Dengan adanya sistem UB - Drainage ini, mampu menampung aliran permukaan di seluruh kampus Universitas Brawijaya dalam *long storage*. Selain itu dengan penerapan sistem drainase ini dengan dimensi saluran drainase eksisting yang dimodifikasi menjadi UB-drainage mampu mengurangi beban drainase di Jl. Yogyakarta (Veteran) sebesar 83,34%.

Resapan yang mampu dihasilkan dengan diterapkannya UB-Drainage ini adalah sebesar 5 % untuk sekali hujan dalam 1 jam. Dengan memperhatikan pola hari hujan dan durasinya selama 5 tahun terakhir di lingkungan kampus UB, maka setiap kali musim hujan sistem *UB-Drainage* ini mampu memberikan sumbangan resapan air sebesar 45 %.

Untuk menghindari masuknya sampah ke dalam lubang drain perlu dipasang saringan (*trashrack*)

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2003. *Perencanaan Saluran Air Hujan Pracetak Berlubang untuk Lingkungan Permukiman*. Pt-T-01-2003-c. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman. Departemen Pekerjaan Umum
- Anonim. 1994. *Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan*. SK SNI 03-3424-1994. Jakarta: Puslitbang Jalan. Balitbang PU
- Chow, Ven Te. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Indriatmoko, R.H., dan Wahyono, H.D. 2012. *Teknologi Konservasi Air Tanah dengan Sumur Resapan*. <http://www.kelair.bppt.go.id/Sitpa/Artikel/Sumur/Sumur.html>.

- Kuncoro, Y. 2012. *Uji Model Fisik Kapasitas Aliran pada Lubang Pengisian Tampungan di Bawah Saluran Drainasi (Underdrain Box Storage)*. Program Magister Dan Doktor Fakultas Teknik Universitas Brajajaya
- Maryono, A., dan Edi, N.S. 2006. *Metode Memanen dan Memanfaatkan Air Hujan untuk Penyediaan Air Bersih, Mencegah Banjir dan Kekeringan*: kementerian Negara Lingkungan Hidup Jakarta.
- Raju, K. G. Ranga. 1981. *Flow Through Open Channels*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi. Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data. Jilid II*. Jakarta: NOVA.
- Sunjoto. 1998. *Sistem Drainase Air Hujan Yang Berwawasan Lingkungan*.
- Sunjoto. 1989. *Pengembangan Sistem Drainasi di Indonesia*, Ceramah Ilmiah Dalam Rangka 25 Tahun Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Subarkah, I. 1980. *Hidrologi Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Darma
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta : Andi.
- Yuwono, N. 1996. *Perencanaan Model Hidraulik (Hydraulic Modelling)*. Yogyakarta: Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada.