

## **ANALISIS KRITERIA RANCANGAN HIDRAULIKA PADA PEMANFAATAN AIR LIMPASAN UNTUK AIR BAKU DI KAWASAN PERUMAHAN**

### ***ANALYSIS OF HYDRAULIC DESIGN CRITERIA FOR RUN OFF UTILIZATION AS RAW WATER IN RESIDENTIAL AREA***

**Habib Krisna Wijaya<sup>1)</sup>, Prastowo<sup>2)</sup>, Asep Sapei<sup>3)</sup>, Nora H. Pandjaitan<sup>4)</sup>**

<sup>1,2,3,4)</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor (IPB);

Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, Bogor. PO BOX 220 Bogor 16002

E-mail: habib.kwijaya@gmail.com

Diterima: 08 November 2013; Disetujui: 14 Mei 2014

#### **ABSTRAK**

*Peningkatan pembangunan kawasan perumahan menyebabkan terjadinya perubahan penggunaan lahan yang secara langsung berakibat pada berubahnya koefisien limpasan. Tujuan umum dari penelitian ini adalah menganalisis koefisien drainase pada berbagai tipologi drainase dan menentukan kriteria rancangan hidraulika untuk sistem drainase perumahan. Dari kriteria rancangan yang dihasilkan, diharapkan limpasan yang terjadi karena adanya kelebihan hujan dapat disalurkan seluruhnya melalui saluran drainase ke tempat penampungan. Dengan demikian kemungkinan terjadinya genangan dan banjir dapat dihindarkan serta nantinya air tersebut dapat dimanfaatkan untuk beberapa keperluan di perumahan. Penelitian dilakukan di kawasan Bogor Nirwana Residence (Jawa Barat) dari bulan Mei - Oktober 2013. Dari hasil pengukuran dan analisis data diperoleh nilai koefisien drainase untuk 3 tipologi saluran di perumahan tersebut. Berdasarkan koefisien drainase ini kemudian disusun kriteria rancangan untuk sistem jaringan drainase. Berdasarkan hasil analisis, limpasan yang terjadi dapat dialirkan melalui saluran drainase sehingga mencegah terjadinya banjir dan kemudian ditampung untuk persediaan air guna memenuhi pemeliharaan sehari-hari fasilitas umum di perumahan, kebutuhan sehari-hari. Untuk itu dibutuhkan bak reservoir yang dilengkapi sedimentation trap. Dari hasil uji laboratorium terhadap kualitas air di saluran drainase, didapatkan bahwa air di saluran tersebut masih cukup baik dan dapat dimanfaatkan untuk air baku.*

**Kata kunci:** Air baku, kawasan perumahan, koefisien drainase, kriteria rancangan hidraulika, limpasan

#### **ABSTRACT**

*The development of residential area had caused land use change. This condition influenced run off coefficient. As regard to the run off coefficient, the objectives of this study were to analyze run off coefficient on various drainage typology and to determine hydraulic design criteria for drainage system within residential area. The research was done at Bogor Nirwana Residence (West Java) from May - October 2013. Three drainage coefficients of 3 drainage channels typology were obtained from research analysis. Hydraulic design criterias were identified based on these drainage coefficients. Based on the result obtained the direct run off occurred can be stored to avoid inundation and to provide water for daily maintenance of residential public facility. To do so, a reservoir facilitated with sedimentation trap is required. The laboratory tests showed that the water quality of run off is suitable to be used as raw water.*

**Key words:** Raw water, residential area, drainage coefficient, hydraulic design criteria, runoff

#### **PENDAHULUAN**

Perubahan tata guna lahan yang diakibatkan oleh pertumbuhan kota dan perkembangan sektor pembangunan menimbulkan dampak yang cukup signifikan terhadap perubahan nilai limpasan permukaan

(runoff). Meningkatnya kawasan terbangun secara langsung berakibat meningkatnya koefisien limpasan sehingga limpasan permukaan akan meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas hujan. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya genangan dan banjir sebagai akibat berkurangnya lahan resapan air

serta sistem drainase yang tidak baik. Konsep pengelolaan drainase yang umum dilakukan adalah mengalirkan secepat-cepatnya air untuk dibuang ke saluran utama/outlet pembuangan. Hal ini tidak lagi sesuai dengan pengelolaan aliran drainase yang berkelanjutan, yaitu dapat mempertahankan keseimbangan air melalui pelestarian sumberdaya air. Berdasarkan pemikiran tersebut, maka perlu dilakukan pemanfaatan air dari aliran air drainase sebagai salah satu sumber air baku dalam memenuhi kebutuhan penduduk. Pemanfaatan air tersebut berkaitan dengan konservasi lahan yang akan dibangun. Dengan melihat luasan daerah tangkapan air, curah hujan, penggunaan lahan, dan sistem drainase yang ada, maka dapat diperkirakan volume air limpasan yang dapat dimanfaatkan.

Curah hujan dengan volume yang besar terutama di areal yang terbangun (seperti perumahan), sampai saat ini masih kurang dimanfaatkan atau melimpas terbuang ke saluran utama seperti sungai. Oleh karena itu, perlu dikembangkan rancangan hidraulika pemanfaatan air limpasan di area terbangun seperti perumahan dengan memanfaatkan saluran drainase yang ada hingga mampu mengalirkan air menuju reservoir yang direncanakan. Dengan melihat luasan Daerah Tangkapan Air (DTA), curah hujan, penggunaan lahan, dan sistem drainase yang ada, maka dapat diperkirakan berapa besar volume air limpasan yang dapat dimanfaatkan. Analisis dalam penelitian ini dilakukan terhadap kriteria rancangan hidraulika pengendali air limpasan untuk perencanaan pemanfaatan air sebagai alternatif sumber air di perumahan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah (1) menentukan koefisien drainase untuk berbagai tipologi drainase, dan (2) menganalisis kriteria rancangan hidraulika sistem drainase sebagai upaya pemanfaatan air permukaan untuk alternatif sumber air baku.

## KAJIAN PUSTAKA

### Analisis Frekuensi Hujan

Hujan rancangan merupakan kemungkinan tinggi hujan yang terjadi dalam kala ulang tertentu sebagai hasil dari rangkaian analisis hidrologi yang biasa disebut analisis frekuensi curah hujan. Analisis frekuensi yang dilakukan dengan menggunakan teori *probability distribution* berdasarkan persamaan distribusi yang sesuai (McCuen 1941; Desramaut 2008). Pada penelitian ini digunakan metode Gumbel dalam perhitungan hujan rancangan untuk masa ulang T didasarkan atas karakteristik penyebaran

(distribusi), dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K \cdot S_d \quad 1)$$

Keterangan:

$X_T$ , Curah hujan rencana (mm/hari);

$\bar{X}$ , Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari);

$S_d$ , Simpangan baku;

K, Faktor probabilitas;

$$K = \frac{Y_{T_r} - Y_n}{S_n} \quad 2)$$

$Y_n$ , *Reduced mean* yang tergantung jumlah data n

$S_n$ , *Reduced standard deviation* yang tergantung juga pada jumlah data n

$Y_{T_r}$ , *Reduced variate*, yang dapat dihitung dengan persamaan

$$Y_{T_r} = -\ln \left\{ -\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right\} \quad 3)$$

### Limpasan Permukaan

Analisis debit limpasan dilakukan dengan menggunakan metode rasional. Metode rasional digunakan untuk menentukan debit puncak limpasan dengan persamaan sebagai berikut (Feyen 1980; Dhakal et al. 2012):

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} \quad 4)$$

Keterangan:

Q, Debit (m<sup>3</sup>/s)

I, Intensitas hujan (mm/jam)

C, Koefisien limpasan

A, Luas area (ha)

Koefisien limpasan didefinisikan sebagai nisbah aliran antara puncak limpasan terhadap intensitas hujan. Koefisien limpasan untuk metode rasional disajikan pada Tabel 1. Perhitungan koefisien limpasan (C) setiap daerah tangkapan air (DTA) yang memiliki lebih dari satu jenis tata guna lahan menggunakan rumus koefisien limpasan rata-rata tertimbang sebagai berikut (Suripin 2004; Dhakal et al. 2012).

$$C = \frac{\sum_{n=1}^n A_n \cdot C_n}{A_{total}} \quad 5)$$

Keterangan:

C, koefisien limpasan rata-rata tertimbang

$C_n$ , nilai koefisien limpasan pada setiap penggunaan lahan

$A_n$ , luas lahan pada setiap penggunaan lahan (ha)  
 $A_{total}$  luas lahan total (ha)

**Tabel 1** Klasifikasi penggunaan lahan dan koefisien limpasan untuk metode rasional

| Koefisien limpasan (C) | Penggunaan lahan         |
|------------------------|--------------------------|
| 1 0,60-0,75            | Rumah multiunit terpisah |
| 2 0,20-0,35            | Taman/lahan terbuka      |
| 3 0,70-0,95            | Perkerasan aspal         |
| 4 0,50-0,70            | Perkerasan paving        |
| 5 0,70-0,95            | Area komersial/bisnis    |

Sumber: Suripin, 2004

**Analisis Intensitas Hujan**

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan persatuan waktu. Intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus Mononobe (Suripin 2004).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[ \frac{24}{t} \right]^{2/3} \tag{6}$$

Keterangan:

- I, intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- $R_{24}$ , hujan rencana (mm), dan
- t waktu konsentrasi (jam).

**Waktu Konsentrasi**

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi (Kirpich 1940 dalam TxDOT 2002). Waktu konsentrasi dihitung dengan persamaan berikut.

$$t_c = \left( \frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \tag{7}$$

Keterangan:

- $t_c$ , waktu konsentrasi (jam),
- L, panjang saluran utama dari hulu sampai outlet (km),
- S, kemiringan rata-rata saluran utama (m/m).

**Koefisien Drainase**

Feyen (1980) menyatakan bahwa koefisien drainase adalah kuantitas rata-rata air yang dapat dipindahkan oleh sistem drainase ke muka air yang lebih rendah setelah jenuh selama 24 jam dari setiap luasan lahan. Desain limpasan

bervariasi pada titik berbeda di sepanjang sistem kanal drainase, secara umum dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q = \frac{q \times A}{1000} \tag{8}$$

Keterangan:

- Q, debit limpasan (m<sup>3</sup>/s)
- A, luas area drainase pada titik yang dihitung (ha)
- q, nilai koefisien drainase yang didefinisikan sebagai desain unit/spesifik limpasan (m<sup>3</sup>/s.ha)

**Perencanaan Dimensi Saluran**

Rumus kecepatan rata-rata pada perhitungan dimensi penampang saluran menggunakan rumus *Manning*, yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Suripin 2004).

$$V_s = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \tag{9}$$

$$R = \frac{A_s}{P} \tag{10}$$

$$Q_s = V_s \times A_s \tag{11}$$

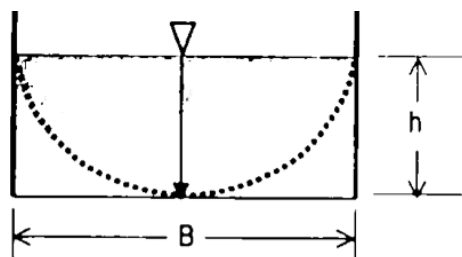
Keterangan :

- $V_s$ , kecepatan rata-rata dalam saluran (m/s)
- $Q_s$ , debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/s)
- n, koefisien kekasaran Manning
- R, radius hidraulik
- S, kemiringan saluran (m/m)
- $A_s$ , luas saluran (m<sup>2</sup>)
- P, keliling basah saluran (m)

Untuk perencanaan kapasitas saluran drainase digunakan kecepatan maksimum yang dianjurkan untuk menentukan dimensi saluran yang sesuai. Kecepatan maksimum merupakan kecepatan rata-rata terbesar yang tidak akan menimbulkan erosi pada tubuh saluran (Chow 1964). Kecepatan maksimum yang dianjurkan adalah 2 m/s untuk pasangan batu dan 3 m/s untuk pasangan beton (KP-03) (DPU 1986).

Informasi bentuk geometri saluran sangat dibutuhkan pada saluran drainase sebagai pengendali limpasan yaitu untuk mengetahui berapa debit maksimum yang dapat dilewatkan untuk setiap luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar salurannya (Suripin, 2004). Pada Gambar 1 menunjukkan contoh bentuk dimensi saluran terbuka.

Untuk perencanaan saluran drainase yang sesuai dengan jumlah debit, maka perencanaan yang sesuai dapat mengacu pada nilai hubungan antara Q, h, dan B/h yang disajikan pada Tabel 3 (DPU 1998).



**Gambar 1** Penampang melintang saluran berbentuk persegi yang umum di perumahan

**Tabel 2** Unsur geometris penampang saluran

| Unsur Geometris            | Rumus penampang            | Satuan |
|----------------------------|----------------------------|--------|
| Kedalaman hidraulik (d)    | $h$                        | m      |
| Luas penampang (A)         | $B \cdot h$                | $m^2$  |
| Keliling basah (P)         | $B + 2h$                   | m      |
| Jari-jari hidraulik, R (m) | $\frac{B \cdot h}{B + 2h}$ | m      |
| Lebar puncak (B)           | $B$                        | m      |

Sumber: Butler dan John (2004); Suripin (2004)

**Tabel 3** Hubungan antara nilai Q, h, dan B/h untuk saluran drainase

| Q ( $m^3/s$ ) | h (m)       | B/h |
|---------------|-------------|-----|
| < 0,5         | < 0,50      | 1   |
| 0,5 - 1,1     | 0,5 - 0,75  | 2   |
| 1,1 - 3,5     | 0,75 - 1,00 | 2,5 |
| > 3,5         | > 1,00      | 3   |

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan sejak bulan Mei hingga Oktober 2013 di Bogor Nirwana Residence (BNR) yang terletak di kota Bogor Provinsi Jawa Barat. Peralatan yang digunakan antara lain meteran, GPS, sekat ukur, *rain gauge*, botol sampel air, *stopwatch*, kamera digital, altimeter, clinometer, alat tulis, dan seperangkat komputer yang dilengkapi dengan *software Arc View* ver. 3.3., *Autocad 2012*, *Microsoft Word*, *Microsoft Excel*, *SigmaPlot 8*, dan program *CimSta* untuk pengolahan data iklim dan curah hujan. Bahan penelitian yang digunakan antara lain data curah hujan pengukuran *Automatic Rainfall Recorder (ARR)* tahun 2013 dari stasiun Muara Puslitbang Hidro-Agroklimat Cimanggu Bogor, data curah hujan harian maksimum periode 30 tahun (1982-2012) dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Dramaga Bogor, peta saluran drainase di perumahan BNR,

peta topografi dan *master plan* perumahan. Selain itu juga contoh air sampel dan  $H_2SO_4$  untuk pengawet contoh air.

Lingkup analisis kegiatan penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Penentuan sistem drainase: Tahapan awal pada penelitian yaitu melakukan observasi dan *tracing* saluran di lokasi penelitian untuk mengetahui pola jaringan drainase, dan dilakukan juga pengukuran dimensi saluran drainase (kedalaman dan lebar dasar saluran), kemiringan serta panjang saluran drainase. Dari data tersebut kemudian dilakukan pemetaan jaringan drainase.
2. Analisis hidrograf saluran kolektor: Dari hasil *tracing* saluran, ditentukan juga lokasi pengukuran debit saluran drainase yang akan dilakukan ketika terjadi hujan dengan sekat ukur. Lokasi pengukuran debit ditentukan berdasarkan kemiringan terendah saluran kolektor atau sebelum lokasi *outlet* saluran drainase. Dari hasil pengukuran debit, kemudian dilakukan tabulasi data debit yang dibandingkan dengan data curah hujan ARR untuk dibuat hidrograf.
3. Analisis debit limpasan: Sebelum menentukan debit limpasan, terlebih dahulu dilakukan analisis koefisien limpasan (C) berdasarkan luasan dan jenis penggunaan lahan di lokasi penelitian dan analisis curah hujan rencana dengan periode ulang hujan (PUH) tertentu berdasarkan data curah hujan harian maksimum dengan metode Gumbel. Curah hujan rencana yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mendapatkan intensitas hujan dengan metode Mononobe berdasarkan perhitungan waktu konsentrasi ( $T_c$ ) metode Kirpich. Kemudian dilakukan perhitungan debit puncak limpasan secara teoritis ( $Q_s$ ) dengan metode Rasional dan dari setiap luasan lahan dihitung nilai koefisien drainase.
4. Analisis kriteria rancangan hidraulika: Penelitian kriteria rancangan hidraulika terkait dengan saluran drainase permukaan dengan mempertimbangkan karakteristik saluran, kecepatan aliran yang diizinkan, debit aliran, kemiringan saluran, dan kekasaran saluran. Perhitungan lebar dasar saluran (B) dan kedalaman saluran (h) dilakukan dengan metode *trial and error* berdasarkan unsur geometris saluran dan hubungan kisaran debit terhadap nilai rasio  $b/h$ , dimana untuk  $Q < 0,5 m^3/det$  maka  $B/h = 1$ ;  $0,5 < Q < 1,1$  maka  $B/h = 2$ ;  $1,1 < Q < 3,5$  maka  $B/h = 2,5$ ; dan  $Q > 3,5$  maka  $B/h = 3$

(DPU 1986)

- Analisis kualitas air: Analisis kualitas air dilakukan sebagai informasi penunjang kelayakan pemanfaatan air limpasan di area perumahan. Analisis dilakukan dengan pengambilan sampel air di saluran drainase kolektor ketika hujan dan tidak hujan, untuk kemudian diuji kualitasnya di laboratorium. Pengambilan sampel air dilakukan sebanyak dua kali ulangan dan masing-masing dilakukan pada waktu kejadian yang berbeda. Dari hasil analisis, kemudian parameter yang diuji dibandingkan dengan baku mutu kualitas air, yaitu Peraturan Pemerintah RI No.82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

Hasil yang diperoleh kemudian digunakan untuk mengembangkan kriteria rancangan hidraulika bagi jaringan sistem drainase. Kriteria rancangan ini nantinya dapat digunakan dalam proses pengambilan keputusan untuk pengembangan jaringan drainase perumahan serta sebagai standar rancangan drainase pada jaringan drainase permukaan.

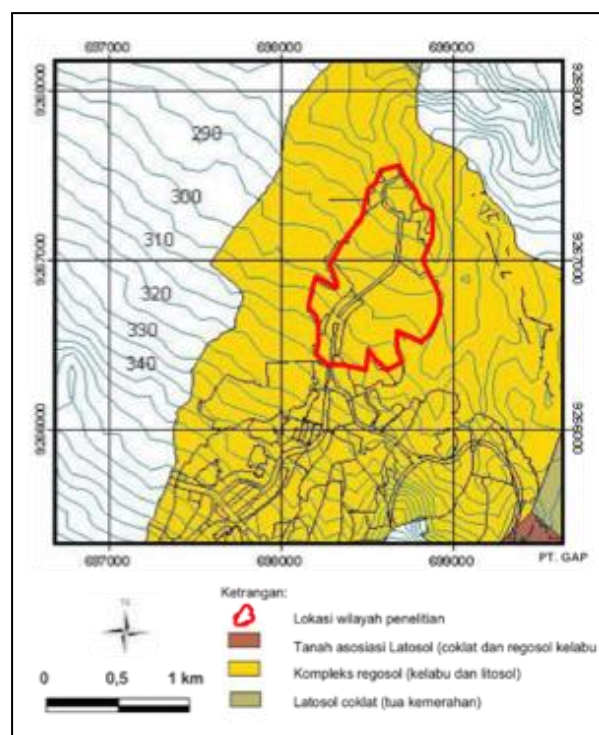
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Bogor Nirwana Residence (BNR) merupakan salah satu kawasan perumahan dan kawasan wisata terpadu yang terletak di Kota Bogor. Perumahan ini memiliki total luas lahan ± 402,3 ha dan pembangunan yang dilakukan terbagi dalam beberapa tahap. Di dalam BNR terdapat beberapa kawasan, yaitu kawasan perumahan, kawasan wisata, kawasan niaga, kawasan pendidikan, hotel, jalan dan ruang terbuka hijau. Pada penelitian ini dilakukan pada kawasan perumahan BNR tahap II yang sudah beroperasi. Lokasi penelitian berada pada ketinggian 280-315 mdpl dengan topografi datar

hingga curam dan kemiringan lahan antara 2-8 %. Peta topografi wilayah penelitian disajikan pada Gambar 2.

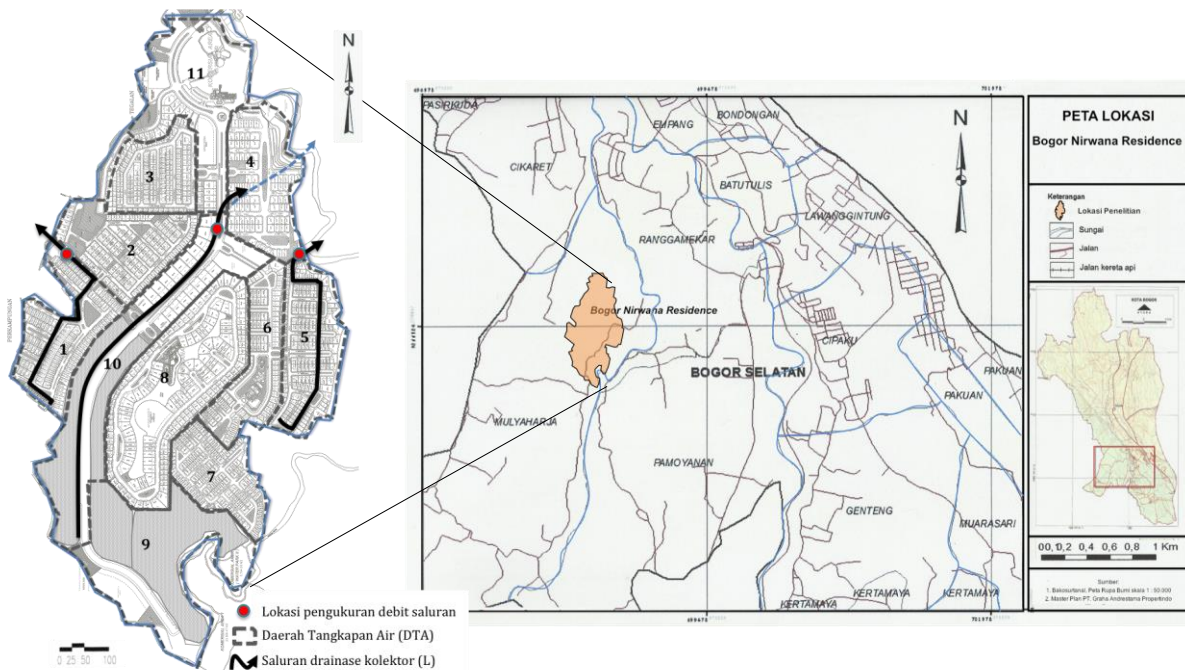
Kawasan perumahan BNR tahap II terdiri atas beberapa cluster dan setiap cluster memiliki saluran drainase tersier yang terhubung dengan saluran drainase sekunder (kolektor) sebelum masuk ke saluran drainase utama. Dari hasil *tracing* saluran dan pembagian DTA, maka dipilih tiga tipologi perumahan yang berbeda yang kemudian dijadikan sebagai lokasi pengukuran debit saluran kolektor, yaitu *cluster* Padma Nirwana (DTA 1), Bukit Nirwana I (DTA 5), dan area komersial 2a (DTA 10). Gambar 3 menunjukkan pembagian DTA di lokasi penelitian dan Tabel 4 menunjukkan luas dan jenis penggunaan lahan.



Gambar 2 Peta topografi lokasi penelitian

Tabel 4 Luas dan jenis penggunaan lahan pada setiap tipologi di lokasi penelitian

| No     | Penggunaan lahan                   | Tipologi 1 (DTA 1) |      | Tipologi 2 (DTA 5) |      | Tipologi 3 (DTA 10) |      |
|--------|------------------------------------|--------------------|------|--------------------|------|---------------------|------|
|        |                                    | Luas (ha)          | %    | Luas (ha)          | %    | Luas (ha)           | %    |
| 1      | Rumah multiunit/bangunan komersial | 1,83               | 37,6 | 1,83               | 38,1 | 0,33                | 6,7  |
| 2      | Taman/lahan terbuka hijau          | 1,68               | 34,4 | 1,78               | 37,0 | 0,84                | 17,0 |
| 3      | Perkerasan dengan aspal            | 0,00               | 0,0  | 1,19               | 24,9 | 0,95                | 19,3 |
| 4      | Perkerasan dengan paving           | 1,37               | 28,0 | 0,00               | 0,0  | 0,83                | 16,9 |
| 5      | Area komersial/niaga               | 0,00               | 0,0  | 0,00               | 0,0  | 1,98                | 40,1 |
| Jumlah |                                    | 4,87               | 100  | 4,80               | 100  | 4,93                | 100  |



**Gambar 3** Lokasi penelitian dan trase saluran drainase

**Analisis Debit Limpasan**

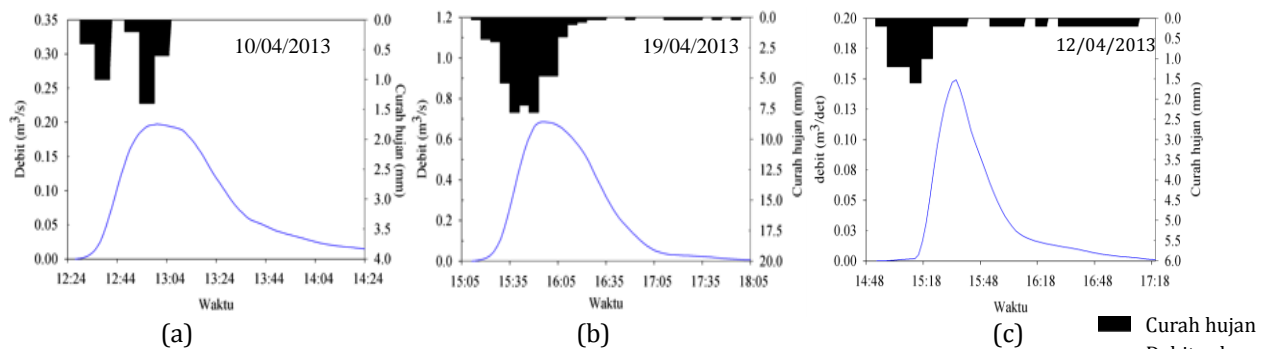
Tabel 5 menunjukkan hasil analisis parameter hidrologi pada saluran drainase di lokasi penelitian yang dilakukan pada setiap kejadian hujan yang berbeda di tipologi 1, tipologi 2, dan tipologi 3. Dari hasil analisis didapat waktu konsentrasi di tiga tipologi penelitian masing-masing adalah 9 menit, 12 menit, dan 11 menit yang terjadi pada panjang saluran masing-masing yaitu 445, 596, dan 726 meter dan dengan kemiringan saluran rata-rata 2,5 %, 2,2 %, dan 4,1 %. Menurut TxDOT (2002), waktu konsentrasi memiliki kisaran yang sama berdasarkan panjang dan kemiringan saluran di

setiap lokasinya. Berdasarkan pengukuran lapang ketika hujan didapat besarnya debit saluran terukur (*Direct Run-off, DRO*) pada tipologi 1 mencapai 0,202 m<sup>3</sup>/s ketika kejadian hujan sebesar 16 mm, pada tipologi 2 sebesar 0,707 m<sup>3</sup>/s ketika kejadian hujan sebesar 78 mm, dan pada tipologi 3 sebesar 0,285 m<sup>3</sup>/s ketika kejadian hujan sebesar 38 mm. Menurut Froehlich (2010), besarnya nilai debit limpasan sangat ditentukan oleh besarnya intensitas-durasi hujan yang terjadi di suatu wilayah selama waktu konsentrasi, luas daerah pengaliran dan koefisien limpasan.

**Tabel 5** Hasil analisis dan pengukuran debit saluran pada beberapa waktu kejadian hujan

| Tanggal    | Lokasi     | CH (mm) | T <sub>CH</sub> (menit) | T <sub>c</sub> (menit) | T <sub>p</sub> (menit) | I (mm/jam) | V <sub>s</sub> (m/s) | A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> ) | Q (m <sup>3</sup> /s) | DRO (m <sup>3</sup> /s) |
|------------|------------|---------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 03/04/2013 | Tipologi 1 | 8       | 48                      | 9                      | 28                     | 9,95       | 1,31                 | 0,06                             | 0,078                 | 0,075                   |
| 10/04/2013 | Tipologi 1 | 16      | 30                      | 9                      | 25                     | 19,90      | 1,65                 | 0,13                             | 0,204                 | 0,202                   |
| 18/04/2013 | Tipologi 2 | 22      | 150                     | 12                     | 45                     | 22,79      | 2,69                 | 0,11                             | 0,139                 | 0,137                   |
| 19/04/2013 | Tipologi 2 | 78      | 132                     | 12                     | 43                     | 80,81      | 3,26                 | 0,22                             | 0,710                 | 0,707                   |
| 08/05/2013 | Tipologi 2 | 60      | 90                      | 12                     | 33                     | 62,16      | 3,16                 | 0,19                             | 0,594                 | 0,591                   |
| 12/04/2013 | Tipologi 3 | 16      | 138                     | 11                     | 37                     | 19,77      | 3,09                 | 0,07                             | 0,205                 | 0,203                   |
| 13/09/2013 | Tipologi 3 | 38      | 144                     | 11                     | 129                    | 41,74      | 3,42                 | 0,09                             | 0,288                 | 0,285                   |
| 17/09/2013 | Tipologi 3 | 22      | 102                     | 11                     | 46                     | 24,17      | 3,00                 | 0,06                             | 0,170                 | 0,152                   |

CH: jumlah curah hujan, T<sub>CH</sub>: lama hujan, T<sub>c</sub>: waktu konsentrasi, T<sub>p</sub>: waktu naik ketika debit puncak, I: intensitas hujan, V<sub>s</sub>: kecepatan aliran, A<sub>s</sub>: Luas penampang basah saluran, Q: debit saluran, DRO: *direct run off*.



**Gambar 4** Hidrograf saluran kolektor: (a) tipologi 1, (b) tipologi 2, dan (c) tipologi 3

**Tabel 6** Hasil analisis debit limpasan dan koefisien drainase

| Lokasi     | CH (mm) | I (mm/jam) | Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /s) | q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /s. ha) | Q <sub>T</sub> (m <sup>3</sup> /s) | q <sub>T</sub> (m <sup>3</sup> /s. ha) |
|------------|---------|------------|------------------------------------|--|------------------------------------|--|
| Tipologi 1 | 8       | 9,95       | 0,075                              | 0,015                                  | 0,089                              | 0,018                                  |
| Tipologi 1 | 16      | 19,90      | 0,202                              | 0,041                                  | 0,178                              | 0,037                                  |
| Tipologi 2 | 22      | 22,79      | 0,137                              | 0,029                                  | 0,218                              | 0,045                                  |
| Tipologi 2 | 78      | 80,81      | 0,707                              | 0,147                                  | 0,772                              | 0,161                                  |
| Tipologi 2 | 60      | 62,16      | 0,591                              | 0,123                                  | 0,594                              | 0,124                                  |
| Tipologi 3 | 18      | 19,77      | 0,203                              | 0,041                                  | 0,221                              | 0,045                                  |
| Tipologi 3 | 38      | 41,74      | 0,285                              | 0,058                                  | 0,466                              | 0,095                                  |
| Tipologi 3 | 22      | 24,17      | 0,152                              | 0,031                                  | 0,270                              | 0,055                                  |

CH: jumlah curah hujan, I: intensitas hujan, Q<sub>s</sub>: debit pengukuran (empiris), q<sub>s</sub>: koefisien drainase (empiris), Q<sub>T</sub>: debit limpasan (teoritis), q<sub>T</sub>: koefisien drainase (teoritis).

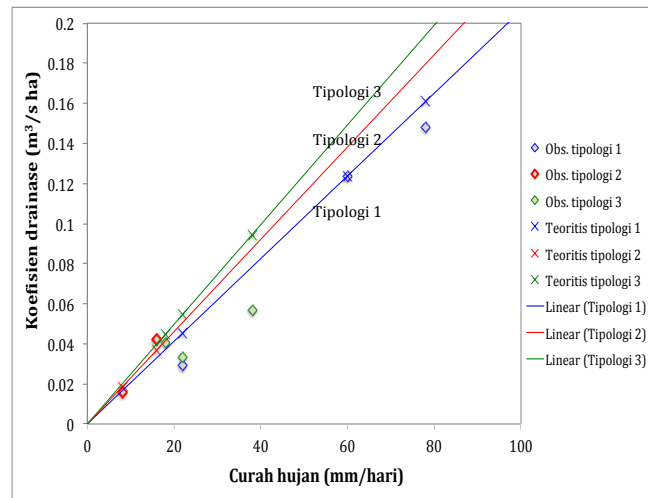
Dari data pengukuran curah hujan dengan *automatic rainfall recorder* (ARR) dan hasil pengukuran debit saluran ketika hujan di outlet saluran, dihasilkan hidrograf saluran drainase pada masing-masing tipologi pada setiap kejadian hujan. Gambar 4 menunjukkan hasil analisis hidrograf pada beberapa waktu kejadian hujan.

Tabel 6 menunjukkan hasil analisis debit limpasan dan nilai koefisien drainase pada berbagai tipologi yang diteliti. Koefisien drainase ini menggambarkan laju pengaliran rata-rata air lebih yang dipindahkan oleh sistem drainase lapang yang ada ke muka air yang lebih rendah (*outlet*) di setiap luasan tipologi. Pada setiap luasan lahannya, debit limpasan terkait dengan besarnya intensitas hujan dan koefisien limpasan (C) pada setiap tipologi perumahan yang secara berurutan sebesar 0,66; 0,72; dan 0,82. Penentuan nilai koefisien limpasan (C) ditentukan berdasarkan klasifikasi penggunaan lahan (Tabel 1) dari masing-masing jenis dan luas penggunaan lahan dari *master plan* dan pengamatan lapang, kemudian dilakukan perhitungan nilai koefisien limpasan dari persamaan (5) berdasarkan luas dan jenis penggunaan lahan.

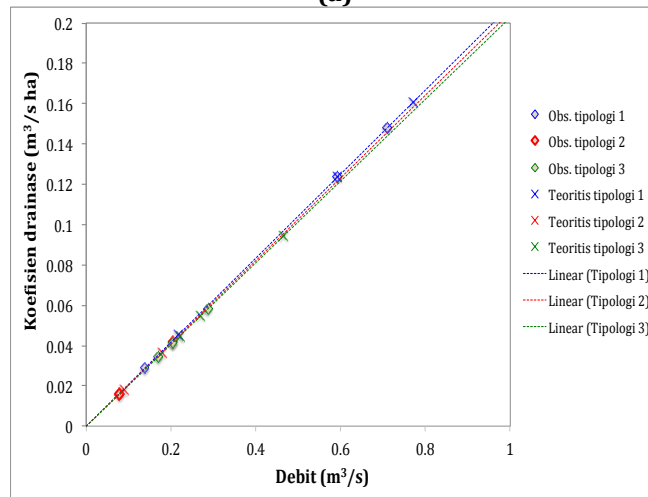
Pada tipologi 1 dengan luas lahan 4,87 ha, didapat debit limpasan pada kisaran hujan 8-16 mm yaitu sebesar 0,089-0,178 m<sup>3</sup>/s. Pada tipologi 2 dengan luas lahan 4,80 ha didapat

besarnya debit limpasan pada kisaran curah hujan 22-78 mm yaitu sebesar 0,218-0,772 m<sup>3</sup>/s, sedangkan pada tipologi 3 dengan luas lahan 4,93 ha didapat debit limpasan pada kisaran hujan 18-38 mm yaitu sebesar 0,221-0,466 m<sup>3</sup>/s ha. Nilai koefisien drainase yang di dapat merupakan nilai koefisien drainase yang terjadi disetiap kejadian hujan di setiap luas lahannya. Dari hasil analisis koefisien drainase menunjukkan setiap perbedaan besarnya curah hujan, jenis penggunaan lahan melalui nilai koefisien limpasan di setiap lokasi memberikan besarnya nilai koefisien drainase yang berbeda. Gambar 5 menunjukkan hubungan nilai koefisien drainase terhadap curah hujan dan debit air pada masing-masing lokasi penelitian. Pada Gambar 5a menunjukkan bahwa nilai koefisien drainase di setiap tipologi ditentukan oleh besarnya curah hujan yang terjadi. Nilai koefisien drainase berbeda di setiap tipologi, yang digambarkan dari perbedaan garis linier di masing-masing tipologi pada besaran curah hujan yang sama. Hal ini disebabkan oleh perbedaan luasan lahan, kondisi topografi dan hidrologi permukaan di setiap tipologi. Selain itu, dari hasil pengukuran (q<sub>s</sub>) dan perhitungan teoritis (q<sub>T</sub>) koefisien drainase (Tabel 6) yang di plotkan pada Gambar 5a menunjukkan adanya perbedaan besarnya nilai koefisien drainase pada setiap kejadian hujan yang sama. Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui besarnya curah hujan yang terjadi pada

setiap luasan lahan tipologi memberikan respon yang berbeda terhadap nilai koefisien drainase.



(a)



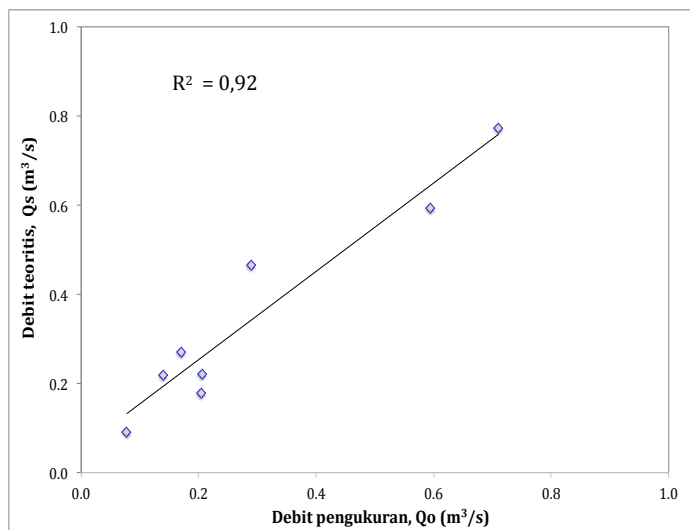
(b)

**Gambar 5** Kurva hubungan koefisien drainase dengan (a) curah hujan dan (b) debit limpasan

Berbeda halnya dengan Gambar 5a, Gambar 5b menunjukkan kurva hubungan koefisien drainase dengan debit limpasan. Dari garis linier yang terbentuk menggambarkan bahwa setiap debit limpasan yang dihasilkan dari respon terhadap curah hujan, akan berbanding lurus dengan besarnya nilai koefisien drainase. Seperti yang diungkapkan oleh Feyen (1980) bahwa terbentuknya koefisien drainase merupakan akumulasi dari jumlah debit limpasan pada badan air dari setiap aliran drainase lapang, sehingga setiap debit aliran yang dihasilkan dari setiap kejadian hujan akan berbanding lurus dengan besarnya nilai koefisien drainase. Besarnya debit limpasan merupakan respon dari curah hujan yang jatuh pada luasan lahan dengan karakteristik penggunaan lahan tertentu. Untuk

mengetahui hubungan kejadian hujan terhadap setiap debit limpasan yang terjadi, dilakukan analisis hubungan keterkaitan melalui debit hasil pengukuran (empiris) dan debit perhitungan (teoritis) metode rasional. Analisis diperlukan dalam memastikan nilai debit puncak perhitungan (teoritis) mendekati hasil pengukuran (empiris). Hubungan antara debit puncak aliran hasil pengukuran dan perhitungan dapat diketahui melalui grafik korelasi linear. Pada grafik korelasi diperoleh nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,92 yaitu tingkat akurasi dari nilai setiap parameter dalam perhitungan dapat diterima. Gambar 6 menunjukkan grafik korelasi linear berdasarkan perbedaan nilai debit seluruh kejadian hujan.





**Gambar 6** Kurva hubungan debit observasi ( $Q_s$ ) dan debit simulasi ( $Q_T$ )

Dari nilai  $R^2$  pada grafik dapat menerangkan bahwa 92 % keragaman debit puncak aliran hasil pengukuran dapat dijelaskan secara teoritis. Setiap perbedaan besarnya intensitas hujan, luasan lahan, dan nilai koefisien limpasan pada setiap tipologi memberikan besarnya nilai debit saluran drainase pada setiap kejadian hujan.

**Analisis Kriteria Rancangan Hidraulika**

Besarnya debit rancangan ditentukan dengan metode rasional yang umum digunakan untuk mengestimasi debit rancangan pada berbagai bentuk drainase di daerah perkotaan dengan luas DTA yang relatif kecil (Suripin 2004; Dhakal et al. 2012). Dalam perhitungan debit rancangan, digunakan intensitas hujan sebagai bentuk besaran hujan yang terjadi setiap jam yang dipengaruhi oleh waktu konsentrasi aliran. Curah hujan rencana pada penelitian dianalisis berdasarkan data kejadian hujan harian maksimum selama 30 tahun (1982-2012). Dengan menggunakan metode Gumbel dan periode ulang di lokasi penelitian digunakan periode ulang hujan 2 tahun didapat hasil analisis

hujan rencana pada penelitian yaitu sebesar 115,59 mm. Tabel 7 menunjukkan hasil analisis debit rancangan pada masing-masing tipologi perumahan.

Perbedaan nilai debit rancangan pada setiap tipologi berbanding lurus dengan besarnya nilai C pada masing-masing tipologi tersebut, seperti yang dinyatakan oleh Dhakal et al. (2012) bahwa besarnya debit rancangan sebanding dengan setiap perubahan tutupan lahan yang didefinisikan sebagai nilai C. Dari nilai debit rancangan pada masing-masing tipologi, kemudian dilakukan analisis nilai koefisien drainase untuk rancangan desain saluran pada setiap luasan lahan.

Besarnya debit puncak dan volume limpasan merupakan parameter penting dalam analisis kriteria rancangan hidraulika pada aspek hidrologi teknik (Viessman dan Lewis 2003 dalam Dhakal 2012). Menurut Gómez et al. (2011), kriteria rancangan hidraulika di daerah perkotaan dapat ditentukan dari beberapa saluran drainase jalan yang ada. Tabel 8 menunjukkan hasil analisis kriteria rancangan hidraulika di lokasi penelitian.

**Tabel 7** Hasil analisis debit rancangan dan koefisien drainase pada setiap tipologi

| Parameter                                    | Tipologi 1    | Tipologi 2     | Tipologi 3     |
|--|---------------|----------------|----------------|
| Luas lahan, A (ha)                           | 4,87          | 4,80           | 4,93           |
| Jenis saluran                                | Pasangan batu | Pasangan beton | Pasangan beton |
| Kemiringan saluran, S (%)                    | 2,5           | 2,2            | 4,1            |
| Koefisien limpasan, C                        | 0,66          | 0,72           | 0,82           |
| Curah hujan rencana (mm)                     | 115,59        | 115,59         | 115,59         |
| Waktu konsentrasi, Tc (menit)                | 9             | 12             | 11             |
| Intensitas hujan, I (mm/jam)                 | 143,8         | 119,8          | 127,0          |
| Debit rancangan, Q (m <sup>3</sup> /s)       | 1,29          | 1,14           | 1,40           |
| Koefisien drainase, q (m <sup>3</sup> /s.ha) | 0,26          | 0,24           | 0,28           |

**Tabel 8** Hasil analisis kriteria rancangan hidraulika di lokasi penelitian

| Parameter                                    | Tipologi 1 | Tipologi 2 | Tipologi 3 |
|--|------------|------------|------------|
| Debit air, Q (m <sup>3</sup> /s)             | 1,29       | 1,14       | 1,40       |
| Koefisien drainase, q (m <sup>3</sup> /s.ha) | 0,26       | 0,24       | 0,28       |
| Koefisien Manning, n                         | 0,025      | 0,014      | 0,014      |
| Kemiringan saluran, S (%)                    | 1,3        | 1,4        | 1,2        |
| Kedalaman aliran, h (m)                      | 0,51       | 0,39       | 0,43       |
| Lebar dasar saluran, B (m)                   | 1,27       | 0,98       | 1,08       |
| Luas penampang basah, As (m <sup>2</sup> )   | 0,64       | 0,38       | 0,47       |
| Keliling penampang basah, P (m)              | 2,28       | 1,76       | 1,94       |
| Jari-jari hidrolik, R (m)                    | 0,28       | 0,22       | 0,24       |
| Freeboard, FB (m)                            | 0,2        | 0,2        | 0,2        |
| Kedalaman saluran (m)                        | 0,70       | 0,60       | 0,70       |

**Tabel 9** Hasil analisis kualitas air

| No. | Parameter                   | Outlet Saluran Tipologi 1 |         | Outlet Saluran Tipologi 2 |         | Outlet Saluran Tipologi 3 |         | Baku Mutu (kelas III) (*) |
|-----|-----------------------------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|---------------------------|
|     |                             | Normal                    | Hujan   | Normal                    | Hujan   | Normal                    | Hujan   |                           |
| 1.  | pH                          | 7,51                      | 7,27    | 7,09                      | 7,65    | 7,17                      | 7,06    | 6-9                       |
| 2.  | TSS (mg/l)                  | 9                         | 21,7    | 80                        | 18,2    | 18                        | 112     | 400                       |
| 3.  | BOD (mg/l)                  | 2,7                       | 3,5     | 3,5                       | 4,2     | 5,3                       | 3,7     | 6                         |
| 4.  | COD (mg/l)                  | 92,48                     | 18,97   | 96,43                     | 10,28   | 98,01                     | 14,23   | 50                        |
| 5.  | Nitrat (mg/l)               | 0,537                     | 0,245   | 0,480                     | 0,219   | 0,053                     | 0,019   | 20                        |
| 6.  | Total ammonia (mg/l)        | 0,221                     | 0,127   | < 0,001                   | 0,438   | 0,014                     | 0,129   | (-)                       |
| 7.  | Phospat (mg/l)              | < 0,001                   | 0,113   | 0,054                     | 0,090   | 0,052                     | 0,171   | 1                         |
| 8.  | Total Coliform (MPN/100 ml) | 2400                      | 1100    | 2400                      | 15      | 2400                      | 23      | 10.000                    |
| 9.  | Minyak dan lemak (mg/l)     | < 1                       | 129     | < 1                       | 125     | 5                         | 86      | 1.000                     |
| 10. | Tembaga (mg/l)              | < 0,005                   | < 0,001 | < 0,005                   | < 0,001 | < 0,005                   | < 0,001 | 0,02                      |
| 11. | Timbal (mg/l)               | < 0,005                   | < 0,001 | < 0,005                   | < 0,001 | < 0,005                   | < 0,001 | 0,03                      |
| 12. | Seng (mg/l)                 | 0,009                     | 0,003   | 0,015                     | 0,005   | 0,055                     | < 0,001 | 0,05                      |

Keterangan: (\*) Baku mutu peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001

**Pemanfaatan Air Saluran Drainase**

Kondisi topografi lahan pada tipologi 3 memungkinkan untuk pembangunan reservoir yang dapat berfungsi untuk menampung limpasan sehingga menambah potensi suplai air. Sebagai pertimbangan dari penelitian terdahulu (Imaduddin 2013), didapatkan bahwa pada luas lahan 4,93 ha dengan debit limpasan 1,4m/s pada saluran tipologi 3, dibutuhkan reservoir dengan kapasitas maksimum 1.000 m<sup>3</sup>. Air limpasan dapat dimanfaatkan dengan membuat reservoir/kolam penampungan di setiap cluster perumahan. Reservoir ini sebaiknya dilengkapi dengan sediment trap sehingga sedimen tidak mudah masuk ke dalam reservoir dan pemakaiannya dapat berlangsung optimum.

Untuk pengujian kualitas air, dilakukan pengambilan sampel air pada saat hujan, yaitu pada tanggal 12 April 2014. Pengambilan sampel air dilakukan di beberapa lokasi untuk dapat membandingkan kualitas air antar lokasi. Metoda yang digunakan adalah grab sampling. Kualitas air limpasan di lokasi penelitian (Tabel 9) berdasarkan hasil analisis laboratorium dan Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001 tergolong dalam kelas III. Dengan demikian tanpa mengalami proses pengolahan, air limpasan ini dapat digunakan langsung sesuai peruntukannya sebagai air baku untuk kegiatan budi daya, peternakan dan irigasi. Selain itu juga dapat digunakan untuk peruntukan lain dengan persyaratan yang sama, seperti pemeliharaan sarana umum serta menyirami tanaman atau pengelolaan taman di kawasan perumahan.

Sampel yang diambil pada outlet saluran tipologi 3 memiliki kandungan TSS yang terbesar sedangkan nilai parameter lainnya relatif kecil. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik saluran yang lebih banyak mengalirkan air limpasan daripada air limbah domestik. Kandungan TSS dapat diperoleh dari beberapa sumber seperti misalnya buangan partikel debu dan pasir di jalan utama Bogor Nirwana Residence, serta kemungkinan adanya retakan pada dinding saluran. Tingginya jumlah kandungan TSS pada air limpasan juga dapat menyatakan banyaknya erosi yang terjadi di bagian hulu saluran utama. Hal ini dapat disebabkan beberapa hal yang kemudian menyebabkan terjadinya gerusan pada dinding saluran.

Untuk menjaga kondisi saluran perlu dilakukan pemeliharaan yang intensif pada saluran drainase yang ada di perumahan BNR. Kegiatan ini dapat berupa pengerukan sedimen, pembersihan sampah dan lumut di saluran. Selain itu juga perlu dilakukan penguatan dinding yang mengalami keretakan baik berupa penambalan maupun renovasi pada bagian saluran yang rusak.

## KESIMPULAN

Koefisien drainase di lokasi penelitian telah dapat ditentukan yaitu tipologi 1 sebesar  $0,26 \text{ m}^3/\text{s ha}$ , tipologi 2 sebesar  $0,24 \text{ m}^3/\text{s ha}$ , dan untuk tipologi 3 sebesar  $0,28 \text{ m}^3/\text{s ha}$ .

Kriteria rancangan hidraulika berhasil ditentukan sesuai dengan kriteria perencanaan (KP-03).

Perlu dilakukan analisis debit saluran untuk tipologi saluran lainnya sehingga dapat dihasilkan nilai koefisien drainase untuk berbagai bentuk tipologi.

Kriteria rancangan hidraulika yang diperoleh perlu divalidasikan pada tipologi saluran drainase yang sama pada lokasi perumahan lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chow VT, 1964. Handbook of Applied Hydrology. United States of America. McGraw-Hill Inc.
- Desramaut N. 2008. Estimation of Intensity Duration Frequency Curves for Current and Future Climates. Thesis. Department of Civil Engineering and Applied Mechanics. Canada: McGill University.

Dhakal N, Fang X, Cleveland TG, Thompson DB, Asquith HW, dan Marzen LJ. 2012. Estimation of Volumetric Runoff Coefficients for Texas Watersheds Using Land-Use and Rainfall-Runoff Data. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 138, No. 1, January. ISSN 0733-9437. p 43-54

[DPU] Departemen Pekerjaan Umum. 1986. Standar Perencanaan Irigasi KP-03 Kriteria Perencanaan Bagian Saluran. Jakarta: Departemen PU. Feyen J. 1980. Drainage of Irigated Land. London (UK): Batsford Academic and Educational Ltd, Katholieke Universiteit Leuven, Center for Irrigation Engineering.

Froehlich DC. 2010. Short-Duration Rainfall Intensity Equations for Urban Drainage Design. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 136, No. 8, Agustus. ISSN 0733-9437. p 519-526.

Gómez M, Macchione F, Russo B. 2011. Methodologies to Study The Surface Hydraulic Behaviour of Urban Catchments During Storm Events. Journal Water Science and Technology. IWA Publishing, 2666-2673.

Harto BR. 1993. Analisis Hidrologi. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Imaduddin MF. 2013. Rancangan Bangunan Hidraulika Pemanfaatan Air Limpasan di Perumahan Bogor Nirwana Residence, Bogor, Jawa Barat. [skripsi]. Bogor. Institut Pertanian Bogor.

McCuen RH. 1941. Modeling Hydrologic Change: Statistical Methods. Department of Civil and Environmental Engineering University of Maryland. United States of America: Lewis Publishers.

Suripin. 2004. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Yogyakarta. Andi

[TxDOT] Texas Department of Transportation. 2002. Hydraulic design manual. The Bridge Division of the Texas Department of Transportation. Austin, Texas

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia khususnya Biro Perencanaan Kerjasama Luar Negeri atas beasiswa studi yang diberikan melalui program Beasiswa Unggulan P3SWOT

dan bantuan biaya penelitian melalui program penelitian BOPTN sehingga

penelitian ini dapat berjalan dengan baik.