

# KAJIAN ANALISIS HIDROLOGI UNTUK PERKIRAAN DEBIT BANJIR (Studi Kasus Kota Solo)

Ag. Padma Laksitaningtyas

*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta  
Email: padma\_laksita@yahoo.com*

## ABSTRAK

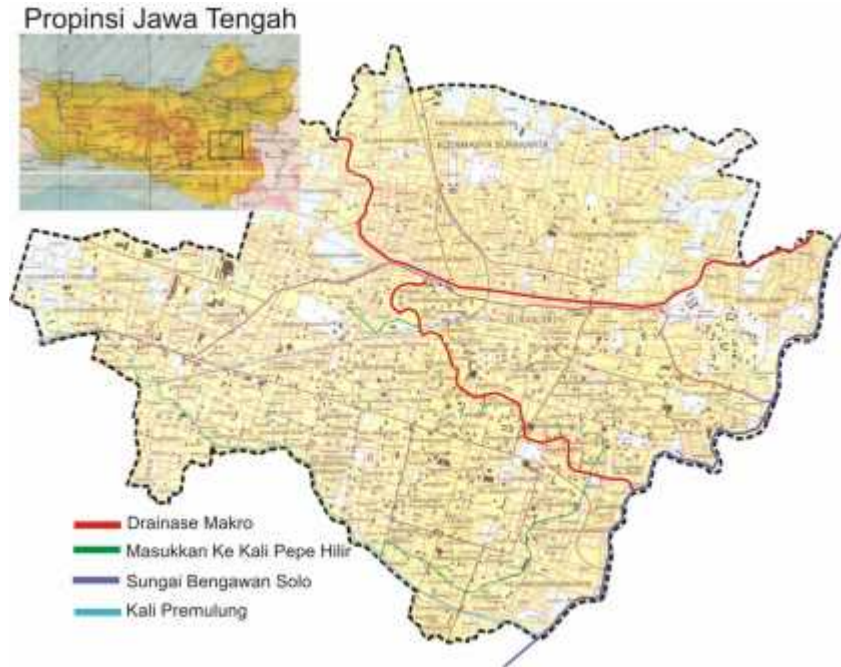
Pada akhir tahun 2007 Sungai Bengawan Solo meluap, yang luapannya menggenangi hampir seluruh wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) terutama Kota Solo. Di Kota Solo terdapat tanggul pelindung banjir, jika turun hujan yang lebat pada daerah luar tanggul akan timbul genangan banjir. Untuk menganalisa besarnya debit yang masuk ke Kota Solo maka dilakukan hitungan Analisis Hidrologi. Hitungan Analisis Hidrologi digunakan untuk mengetahui inflow dan lateral inflow Kota Solo dan daerah sekitarnya yang alirannya masuk ke saluran drainase Kota Solo. Perhitungan dengan menggunakan metode HSS Gama I, dan metode Rasional. Analisis dilakukan dengan pengalihragaman data hujan harian Kota Solo dan data hujan jam-jaman pada stasiun hujan pada daerah sekitar, untuk mendapatkan data debit jam-jaman yang mendekati. Hasil hitungan merupakan data debit jam-jaman dari Kota Solo dan dari daerah sekitarnya yang terjadi pada saat kejadian banjir akhir Desember 2007. Data debit hasil hitungan merupakan data debit yang masuk ke saluran drainase sekunder dan tersier pada Kota Solo, yang memberikan kontribusi masukan debit ke Kota Solo. Drainase sekunder Kota Solo terbagi menjadi dua, Kali Pepe Hulu-Kali Anyar dan Kali Pepe Hilir. Daerah Tangkapan Air (DTA) 17 memberikan debit terbesar pada tanggal 26 Desember 2007 pukul 02.00 WIB yaitu 45,96 m<sup>3</sup>/s ke Saluran Kali Pepe Hulu, DTA 6 memberikan debit terkecil sebesar 0,31 m<sup>3</sup>/s. DTA 1 memberikan debit terbesar pada tanggal 26 Desember 2007 pukul 07.00 WIB yaitu 236,87 m<sup>3</sup>/s ke Saluran drainase Kali Anyar, Pepe Hulu 1 dengan debit terkecil sebesar 0,5 m<sup>3</sup>/s. Kali Jenes memberikan debit terbesar pada tanggal 28 Desember 2007 pukul 16.00 WIB yaitu 4,5 m<sup>3</sup>/s ke Saluran drainase Pepe Hilir, Gandekan dan Keprabon dengan debit terkecil sebesar 0,69 m<sup>3</sup>/s.

Kata kunci: debit, drainase, sekunder

## 1. LATAR BELAKANG

Pada akhir tahun 2007 Sungai Bengawan Solo meluap, menyebabkan genangan banjir pada hampir sepanjang alur sungai. Kejadian banjir tersebut mengakibatkan kerugian material dan kerusakan infrastruktur yang besar di beberapa wilayah sepanjang aliran Bengawan Solo termasuk di Kota Solo. Kota Solo merupakan salah satu kota yang terletak di Provinsi Jawa Tengah yang dilewati oleh aliran Sungai Bengawan Solo sepanjang 13 km. Drainase utama Kota Solo terdiri dari dua sistem yaitu Sistem Kali Pepe Hulu-Kali Anyar dan Kali Pepe Hilir yang akan bermuara ke Sungai Bengawan Solo. Kedua sistem tersebut dipisahkan oleh Pintu Air (PA) Tirtonadi. Di Kali Anyar terdapat bendung karet, sedangkan di Kali Pepe Hilir terdapat PA Demangan yang dilengkapi pompa air. Jika muka air Sungai Bengawan Solo naik akibat debit aliran besar, PA Demangan di tutup untuk mencegah luapan ke Hulu Kali Pepe Hilir. Kondisi ini menyebabkan beban drainase Kota Solo meningkat, karena air tidak dapat mengalir menuju ke Sungai Bengawan Solo. Aliran drainase yang terhambat menimbulkan genangan di beberapa lokasi rawan di Daerah Kota Solo. Selain dari Kota Solo, aliran air dari sebagian wilayah Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Sukoharjo juga mengalir menuju Bengawan Solo melalui drainase Kota Solo. Aliran air dari Sistem Drainase Kali Pepe Hulu-Kali Anyar berasal dari Kota Solo dan Kabupaten Boyolali. Aliran air dari Sistem Drainase Kali Pepe Hilir berasal dari Kota Solo dan Kabupaten Sukoharjo.

Penelitian ini dilakukan dengan kajian utama pada Sistem Drainase Utama Kota Solo. Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1. Melihat persoalan yang terjadi di Kota Solo tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa hidrologi untuk perkiraan debit banjir pada Sistem Drainase Utama Kota Solo yaitu Kali Pepe Hulu-Kali Anyar dan Kali Pepe Hilir saat kejadian banjir Kota Solo Akhir Desember 2007.



Gambar 1. Peta Kota Solo.

## 2. PENGOLAHAN DATA

Secara garis besar pengolahan data Analisis hidrologi digunakan untuk menghitung besaran debit yang masuk ke aliran sungai. Karena tidak adanya data yang akurat mengenai besaran debit yang masuk maka digunakan asumsi-asumsi yang ada. Cakupan perhitungan analisis hidrologi dapat di lihat dalam tabel

Tabel 1. Cakupan Analisis Hidrologi untuk perkiraan debit banjir Kota Solo

No	Hitungan	Daerah	Keterangan
1	Luasan	Daerah Boyolali	HSS Gama I Ke Kali Pepe Hilir
		Daerah Kota Surakarta	Poligon Thiessen
		Daerah Tangkapan Drainase Kota Surakarta	Metode Rasional
2	Gama I	Daerah Boyolali	untuk Input Inflow Ke Kali Pepe Hilir
3	Poligon Thiessen	Daerah Kota Surakarta	Metode Rasional
4	Data Hujan Jam-jaman	Daerah Tangkapan Drainase Kota Surakarta	Masukkan Lateral Inflow dari hasil Metode Rasional (debit harian) dijadikan debit jam-jam

### Hujan Das Metode Poligon Thiessen

Masukan hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi adalah besaran hujan DAS, yang dapat dianggap mewakili seluruh hujan yang terjadi dalam DAS. Besaran hujan ini diperoleh dengan merata-ratakan hujan titik (*point rainfall*). Hujan DAS harian dihitung dengan menggunakan metode Poligon Thiessen.

Bobot Poligon Thiessen yang merupakan faktor bobot terhadap hujan yang terjadi pada stasiun yang bersangkutan didapatkan dengan menggunakan persamaan 1 berikut ini:

$$\alpha_i = \frac{A_p}{A_t} \quad (1)$$

dengan  $\alpha_i$  = faktor bobot Poligon Thiessen, untuk stasiun hujan  $i$ ,  
 $A_p$  = luas pengaruh stasiun hujan  $i$  ( $\text{km}^2$ ),  
 $A_t$  = luas daerah aliran sungai ( $\text{km}^2$ ).

Hujan rata-rata DAS dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$H_r = \sum_{i=1}^j \alpha_i H_i \quad (2)$$

dengan  $\alpha_i$  = faktor bobot poligon Thiessen, untuk stasiun hujan  $i$ ,  
 $H_r$  = hujan rata-rata DAS (mm),  
 $H_i$  = hujan masing-masing stasiun hujan (mm),  
 $j$  = jumlah stasiun hujan yang berpengaruh pada DAS.

Distribusi hujan jam-jam diperoleh dengan mengolah dan mencermati data hujan jam-jaman hasil rekaman dari penakar hujan otomatis atau ARR (*Automatic Rainfall Recorder*) pada suatu DAS. Stasiun hujan otomatis sangat terbatas jumlahnya, sehingga distribusi hujan tersebut dianggap merata untuk seluruh DAS. Dalam penelitian ini untuk proses simulasi model menggunakan distribusi hujan apa adanya sesuai dengan hasil rekaman yang terjadi pada saat kejadian banjir Akhir Desember 2007.

### Metode Rasional

Bentuk umum pemikiran secara rasional dapat dinyatakan secara aljabar dengan:

$$Q = C.I.A \text{ cfs (cubic feet per second atau second feet)} \quad (3)$$

dengan  $C$  = koefisien *runoff* (tidak berdimensi)  
 $A$  = luas daerah aliran sungai (acres)  
 $I$  = intensitas hujan maksimum selama waktu yang sama dengan lama waktu konsentrasi (inci/jam)  
 $Q$  = debit maksimum (ft<sup>3</sup>/det)

Dengan itu, rumus itu, rumus ini di sebut rumus rasional. (Untuk pertama-tama digunakan di Irlandia oleh Mulvaney dalam tahun 1847)

Kalau digunakan satuam metrik, maka rumus rasional menjadi:

$$Q = 0,278 C.I.A \text{ m}^3/\text{det} \quad (4)$$

$I$  dalam mm tiap jam,  $A$  dalam km<sup>2</sup>

Rumus rasional hanya digunakan untuk menentukan banjir maksimum bagi saluran-saluran dengan daerah aliran kecil, kira-kira 100-200 acres (atau kira-kira 40-80 ha).

Keterangan :

1. Intensitas Hujan  
Intensitas hujan adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu. Besarnya intensitas hujan berbeda-beda, tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya.
2. Waktu Konsentrasi  
Rumus Empiris (Kirpich, 1940) untuk lama waktu konsentrasi ialah:  

$$t_c = 0,0195.l^{0,77}.S^{-0,385} \quad (5)$$
 dimana  $t_c$  = waktu dalam menit  
 $l$  = panjang jarak dari tempat terjauh di daerah aliran sampai tempat pengamatan banjirnya, diukur menurut jalannya sungai (m)  
 $S$  = Perbandingan dari selisih tinggi antara tempat terjauh dan tempat pengamatan terhadap  $l$ , atau kemiringan rata-rata daerah alirannya.
3. Angka pengaliran  $C$   
Besarnya pengaliran dapat juga dinyatakan dengan ukuran tinggi aliran. Bila ukuran besarnya hujan (dalam mm) untuk luas daerah yang sama disebut tinggi hujan, maka perbandingan antara tinggi aliran dan tinggi hujan untuk jangka waktu cukup panjang disebut angka pengaliran.

$$C = \frac{h_{aliran}}{h_{hujan}} \quad (6)$$

Harga  $C$  berubah dari waktu ke waktu sesuai dengan perubahan pada faktor-faktor yang bersangkutan dengan alikiran permukaan di dalam sungai.

4. Koefisien penyebaran hujan  $\beta$   
Koefisien penyebaran hujan  $\beta$  merupakan nilai yang digunakan untuk mengoreksi pengaruh penyebaran hujan yang tidak merata pada suatu daerah pengaliran. Nilai besaran ini tergantung dari kondisi dan luas daerah pengaliran. Untuk daerah yang relatif kecil biasanya kejadian hujan diasumsikan merata. Sehingga nilai koefisien penyebaran hujan  $\beta = 1$

### Aplikasi Metode Rasional

Salah satu cara yang dapat diuraikan untuk menentukan perkiraan debit puncak akibat akumulasi limpasan permukaan pada saluran drainase adalah metode Rasional dengan Metode Llyod-Davies, dimana metode ini mewakili tiap segmen area masukkan drainase. Rumus yang akan digunakan adalah:

$$Q = 0,278 \cdot C_j \cdot I_t \cdot A_t \quad (7)$$

dengan:  $C_j$  = runoff coefficient dari area,  $\sum_{i=1}^n \frac{A_i C_i}{A_t}$   
 (8)  $A_i$  = luas daerah subdrainase ( $\text{km}^2$ ),  
 $C_i$  = runoff coefficient subdrainase

$$A_t = \text{luas total area (km}^2\text{)}, = \sum A_i \quad (9)$$

$I_t$  = intensitas hujan total (mm/hour).

### Hidrograf Satuan

Data yang diperlukan untuk menurunkan hidrograf satuan di DAS yang ditinjau adalah data hujan otomatis. Data hidrograf satuan diturunkan untuk mendistribusikan hujan dari hujan satuan menjadi hujan jam-jaman.

Perhitungan hidrograf satuan dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_x = \sum_{y=1}^{x \leq Y} P_y Q_{x-y+1} \quad (10)$$

$X$  = 1, 2, 3, ..., X  
 $y$  = 1, 2, 3, ..., Y  
 dengan  $Q_x$  = hidrograf limpasan langsung,  
 $p_y$  = hujan efektif,  
 $q_{x-y+1}$  = hidrograf satuan,  
 $x$  = jumlah ordinat dari hidrograf limpasan langsung,  
 $y$  = jumlah durasi hujan yang berurutan.

Notasi  $X \leq Y$  merupakan batas atas dari penjumlahan untuk  $x = 1, 2, 3, \dots, X$  untuk  $X \leq Y$ , tetapi untuk  $X > Y$ , penjumlahan dibatasi untuk  $y=1, 2, 3, \dots, Y$ .

### Metode HSS Gama I

Untuk memperhitungkan masukkan drainase dari Kabupaten Boyolali maka metode untuk perhitungan analisis hidrograf banjir adalah Hidrograf Satuan Sintetik GAMA I (HSS GAMA I). Dalam analisis HSS GAMA I diperlukan data berupa parameter DAS.

Sisi naik merupakan garis lurus, sedangkan sisi resesi merupakan lengkung eksponensial sesuai dengan persamaan:

$$Q_t = Q_p \cdot e^{-t/k} \quad (11)$$

dengan  $Q_p$  = debit puncak dalam ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  
 $t$  = waktu (hour),  
 $k$  = koefisien tampungan (hour).

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam HSS GAMA I adalah sebagai berikut ini.

$$\text{Waktu Puncak (t}_r\text{)} = 0,43(L/100SF)^3 + 1,0665 \cdot \text{SIM} + 1,2775 \quad (12)$$

$$\text{Debit Puncak Hidrograf Satuan (Q}_p\text{)} = 0,1836 \cdot A_t^0 \cdot 5886 \cdot \text{TR}^{-0,4008} \cdot \text{JN}^{-0,2381} \quad (13)$$

$$\text{Waktu Dasar (t}_b\text{)} = 27,4132 \cdot \text{TR}^{0,1457} \cdot \text{S}^{-0,0986} \cdot \text{SN}^{0,7344} \cdot \text{RUA}^{0,2574} \quad (14)$$

$$\text{Koefisien Resesi (k)} = 0,5617 \cdot A_t^0 \cdot 1798 \cdot \text{S}^{-0,1446} \cdot \text{SF}^{-1,0897} \cdot \text{D}^0 \cdot 0,0452 \quad (15)$$

$$\text{Aliran Dasar (Q}_b\text{)} = \dots \quad (16)$$

dengan  $A_t$  = luas daerah aliran sungai ( $\text{km}^2$ ),  
 $t_r$  = waktu naik (hour),  
 $L$  = panjang sungai (km),  
 $t_b$  = waktu dasar (hour),

- JN = *Join Frequency*, jumlah pertemuan sungai,
- SN = *Source Frequency*, frekuensi sumber perbandingan antara jumlah sungai tingkat satu dengan jumlah sungai semua tingkat,
- SF = *Source Factor*, faktor sumber,
- D = *Drainage Density*, kerapatan jaringan-kuras,
- RUA = *River Upstream Area*, luas DAS sebelah hulu,
- SIM = *Symmetry Factor*, faktor simetri,
- S = *Slope*, kemiringan dasar sungai.

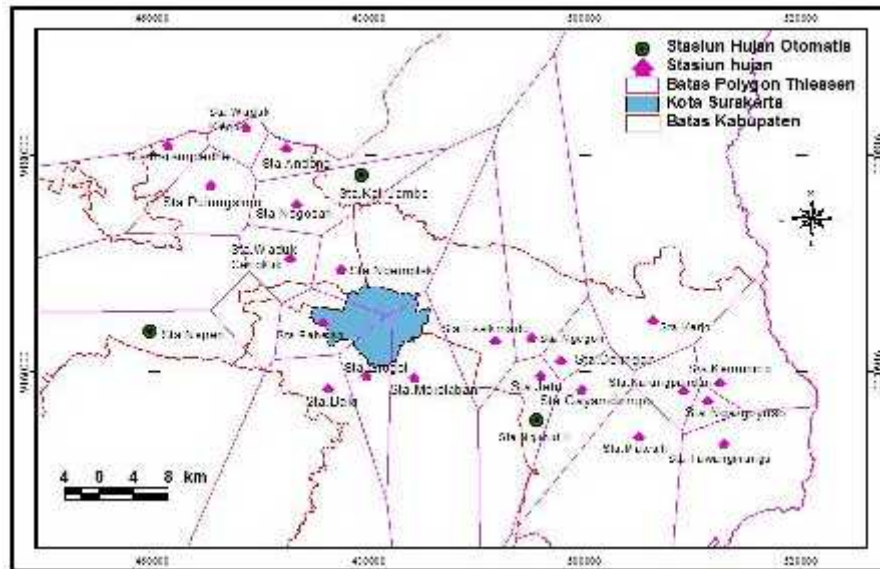
Penggunaan rumus ini memperhatikan indeks infiltrasi ( indeks). Indeks infiltrasi merupakan anggapan bahwa tidak semua air hujan melimpas di atas permukaan, tetapi terdapat sebagian air yang terinfiltrasi ke dalam tanah. Besaran indeks infiltrasi dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$DM = \left( 151, \frac{5}{0} - 9 - 120 \right) \times 10, \frac{000}{3 \times 24 \times 3600} = 1,665 \frac{1}{\text{ha}} \quad (17)$$

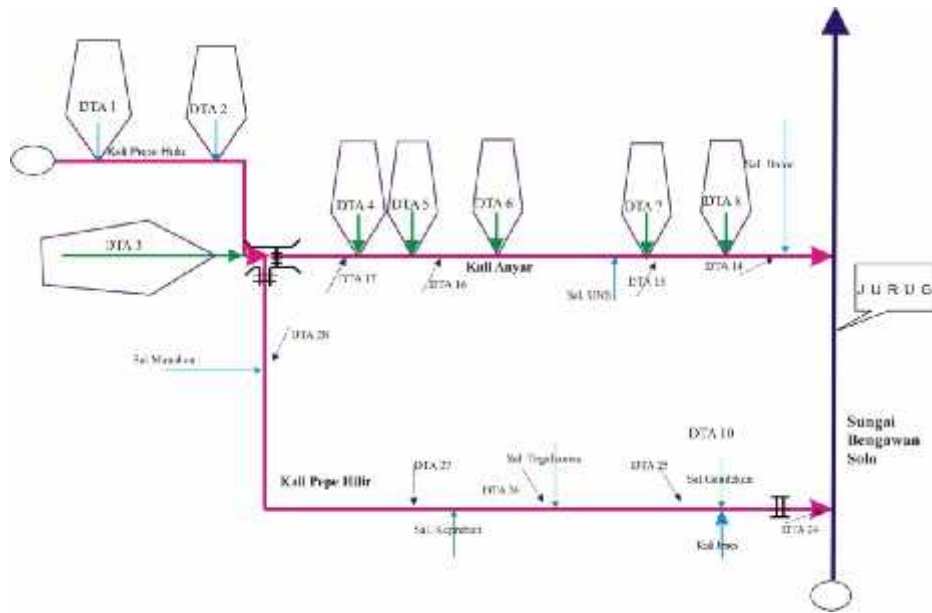
indeks =  $10,4903 - 3,859 \cdot 10^{-6} \cdot A^{-2} + 1,6895 \cdot 10^{-13}$   
 dengan indeks = indeks infiltrasi (mm/hour),

$A_t$  = luas daerah aliran sungai (km<sup>2</sup>),

SN = *Source Frequency*, frekuensi sumber perbandingan antara jumlah sungai tingkat satu dengan jumlah sungai semua tingkat.



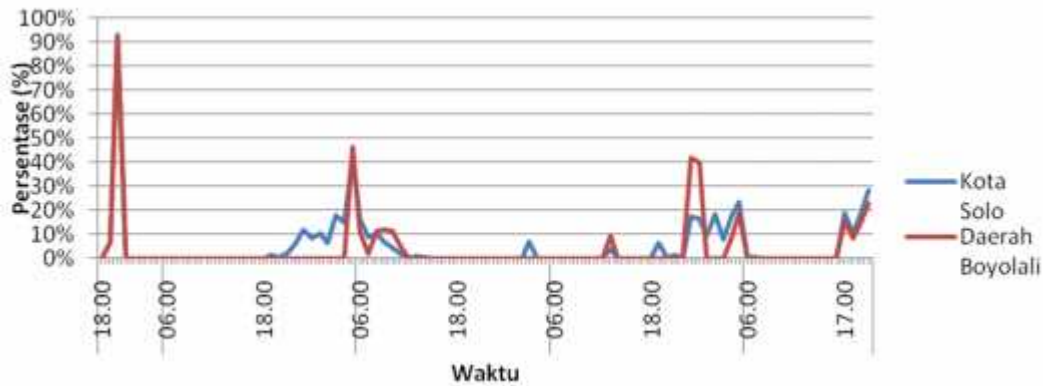
Gambar 2. Peta Poligon Thiessen Kota Solo



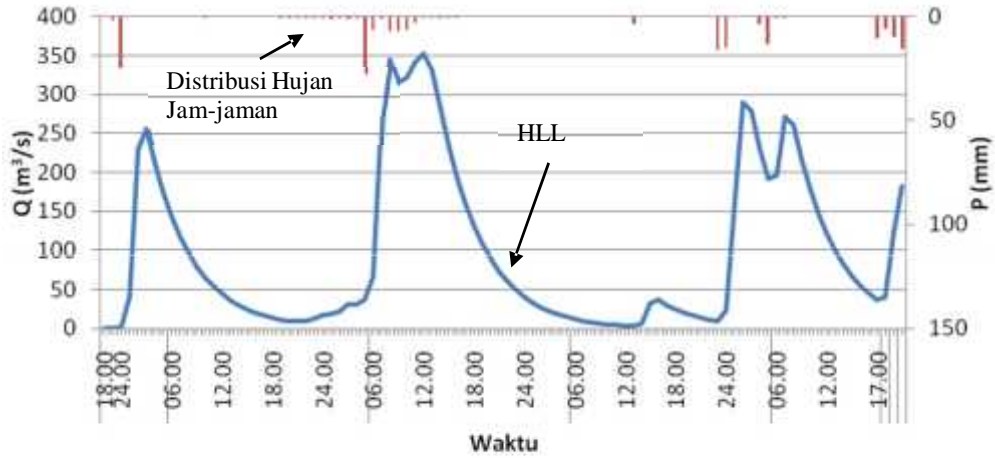
Gambar 3. Skema Daerah Tangkapan Air drainase Kota Solo

### 3. HASIL ANALISIS HIDROLOGI

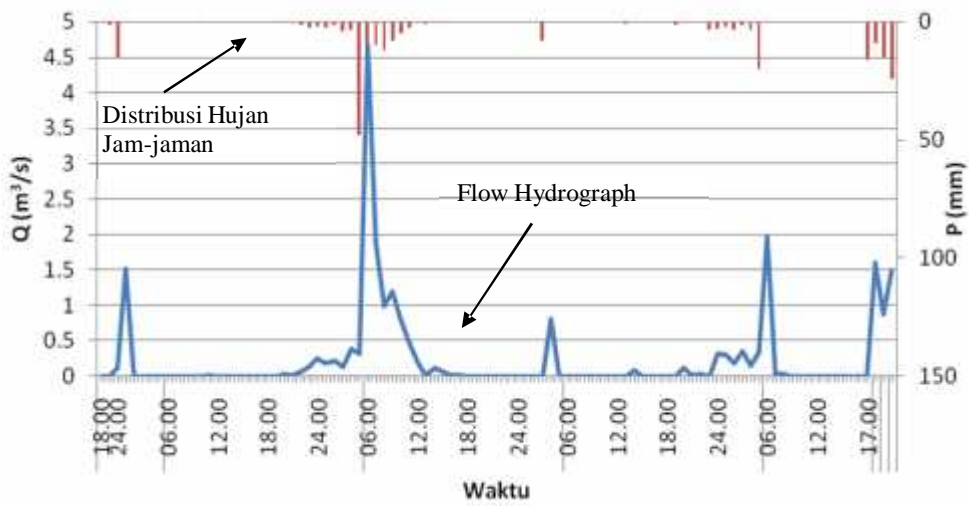
Hasil perhitungan analisis hidrologi, adalah hidrograf banjir untuk Kali Pepe Hulu yang di hitung dengan metode HSS Gama I. Untuk Kali Pepe Anyar dan Kali Pepe, pola distribusi jam-jaman mengikuti dari pola distribusi jam-jaman Kota Solo. Untuk inflow lateral sebagai masukkan pada saluran drainase merupakan hasil dari perhitungan aplikasi Metode Rasional dengan memperhitungan limpasan dari beberapa arah sungai dan saluran drainase. Hasil perhitungan analisis hidrologi, didapatkan hidrograf debit untuk Kali Pepe Hulu dari hidrograf limpasan langsung hasil perhitungan HSS Gama I, sedangkan untuk grafik dari hasil HLL disajikan pada Gambar 5. Untuk *inflow lateral* sebagai masukkan pada saluran drainase merupakan hasil dari perhitungan metode Rasional. Contoh grafik hasil hitungan *inflow lateral* yang dari DTA 17 dapat dilihat dalam Grafik 6.



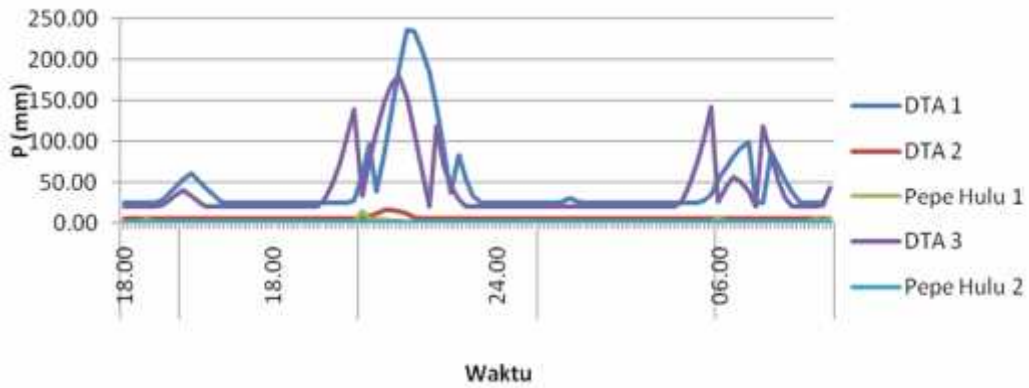
Gambar 4. Pola Distribusi Hujan Jam-jaman



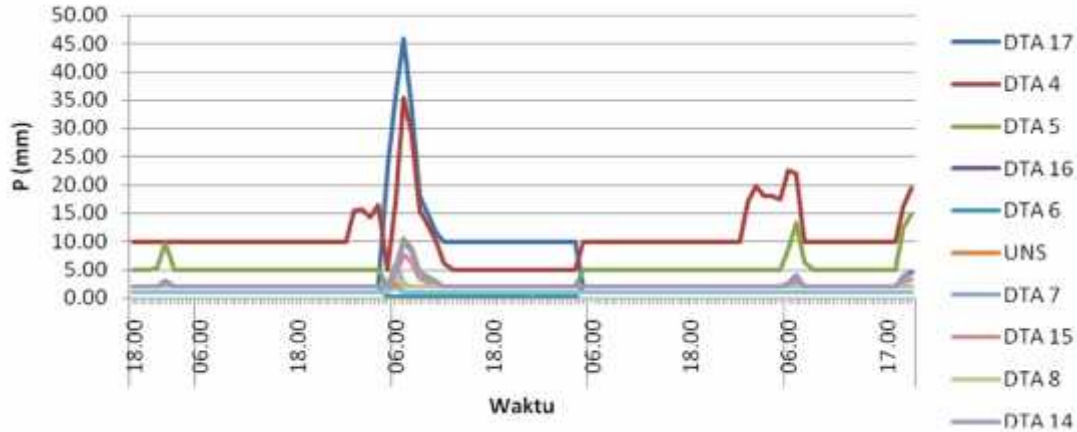
Gambar 5. Hidrograf limpasan langsung Daerah Boyolali.



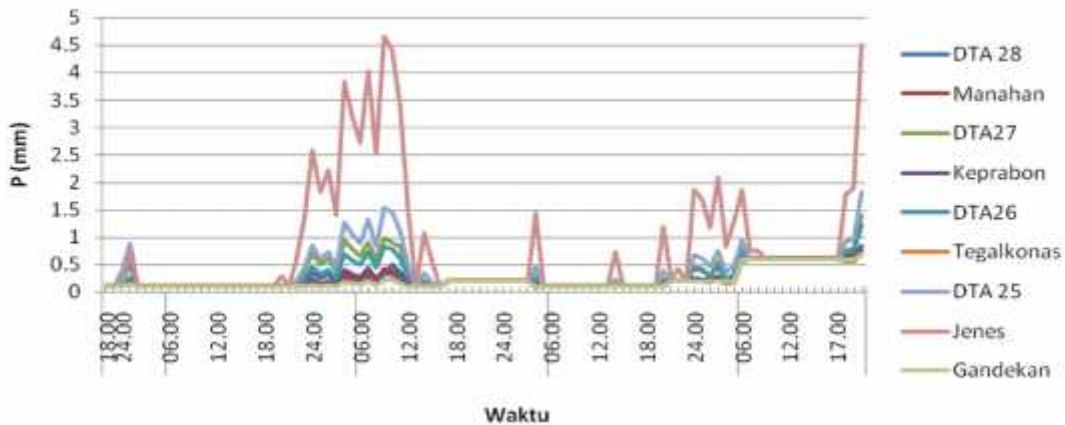
Gambar 6. Hidrograf debit DTA 17.



Gambar 7. Grafik hasil analisis hidrologi untuk perkiraan debit banjir untuk Kali Pepe Hulu



Gambar 8. Grafik hasil analisis hidrologi untuk perkiraan debit banjir untuk Kali Anyar



Gambar 9. Grafik hasil analisis hidrologi untuk perkiraan debit banjir untuk Kali Pepe Hilir

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Daerah Tangkapan Air (DTA) 17 memberikan debit terbesar pada tanggal 26 Desember 2007 pukul 02.00 WIB yaitu  $45,96 \text{ m}^3/\text{s}$  ke Saluran Kali Pepe Hulu, DTA 6 memberikan debit terkecil sebesar  $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$ .
2. DTA 1 memberikan debit terbesar pada tanggal 26 Desember 2007 pukul 07.00 WIB yaitu  $236,87 \text{ m}^3/\text{s}$  ke Saluran drainase Kali Anyar, Pepe Hulu 1 dengan debit terkecil sebesar  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .
3. Kali Jenes memberikan debit terbesar pada tanggal 28 Desember 2007 pukul 16.00 WIB yaitu  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$  ke Saluran drainase Pepe Hilir, Gandekan dan Keprabon dengan debit terkecil sebesar  $0,69 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### Daftar Pustaka

- Anonim. (2008) Banjir Bengawan Solo Desember 2007 dan Operasi Pengendalian Banjir Bendungan Wonogiri. Perusahaan Umum Jasa Tirta I, Surakarta.
- Bambang Triatmodjo. (2008). Hidrologi Terapan, Beta Offset. Yogyakarta.
- Chow, V.T. (1998). Hidrolika Saluran Terbuka. Erlangga, Jakarta.
- Gupta, Ram S. (1989). Hydrology and Hydraulic System. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kodoatie, J.R. dan Sugiyanto. (2002). Banjir: Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya Dalam Perspektif Lingkungan. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Sri Harto Br. (1993). Analisis Hidrologi. Gramedia, Jakarta.
- Sudjarwadi. (1988). Teknik Sumber Daya Air. Biro Penerbit KMTS Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wesli. (2008). Drainase Perkotaan. Graha Ilmu, Yogyakarta.