

PENELUSURAN BANJIR DENGAN METODE NUMERIK DAERAH ALIRAN SUNGAI NGUNGGAHAN WONOGIRI

Hanif Satria Wardanu¹⁾, Rr. Rintis Hadiani²⁾, Solichin³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2),3)}Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: Hanif.SatriaW@gmail.com

Abstract

Flood is an occurrence that marked with the increase in the water exceeds the capacity of volume water reservoir such as a river or water channel. Flood predictable with see natural phenomena such as rainfall. The research for flood is done as a means to reduce an adverse impact by flooding. The research for flood is done by estimates the time and the flood in a point the river. The purpose of this study in to find discharge flood plan on the period repeated 5 and 20 years, and knows mathematics model the research for flood use numerical method. This study, river flow areas (DAS) used Ngunggan river are located of Wonogiri District. This research using several method. The method used to determine the maximum flood flow rate is Soil Conservation Service (SCS) and for flood routing used numerical method of simplification Saint-Venant equation. In computation river reference divided into several section. The data used in this research is secondary data 2002 to 2014 year. Result of analysis and calculation flooding rainfall distribution Log Pearson III patterns and SCS Synthetic Unit Hydrograph method obtained flood return period 5 and 20 years as follows: discharge inflow maximum for the repeated period of 5 year is 265,836 m³/sec and period of 20 year is 303,748 m³/sec. Flood routing model by numerical method in Ngunggan river produce the relationship between the discharge and elevation on the flood in equation $h = 0,036 \cdot Q^{0,634}$ for repeated period of 5 year and $h = 0,036 \cdot Q^{0,635}$ for repeated period of 20 year. The model relationship between distance and elevation of the flood in equation $h = 173,5 \cdot L^{-0,67}$ for repeated period of 20 year dan $h = 192,6 \cdot L^{-0,67}$ for repeated period of 20 year. Each model equation provide the realibility to 99%.

Keywords : Flood Routing, Flood peak discharge, HSS SCS, Numerik Method

Abstrak

Banjir merupakan suatu kejadian yang ditandai dengan naiknya muka air melebihi kapasitas volume tampungan air semisal sungai atau saluran air. Banjir dapat diprediksi dengan melihat fenomena alam seperti curah hujan yang tinggi. Penelusuran banjir dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi dampak yang merugikan akibat banjir. Penelusuran banjir dilakukan dengan memperkirakan waktu dan besaran banjir di suatu titik aliran sungai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui debit banjir rencana pada periode ulang 5 dan 20 tahun, serta mengetahui model matematika penelusuran banjir menggunakan metode numerik. Pada penelitian ini, Daerah Aliran Sungai (DAS) yang digunakan yaitu sungai Ngunggan yang berada di kabupaten Wonogiri. Muara dari sungai Ngunggan adalah di Waduk Gajah Mungkur Wonogiri. Penelitian ini menggunakan beberapa metode. Metode yang digunakan untuk mengetahui debit banjir maksimum adalah Hidrograf Santuan Sintetik *Soil Conservation Service* (SCS). Sedangkan metode yang digunakan untuk perhitungan penelusuran banjir adalah numerik dengan persamaan Saint-Venant. Dalam perhitungannya panjang sungai acuan dibagi menjadi beberapa pias. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sekunder tahun 2002-2014. Hasil analisis dan perhitungan banjir menggunakan pola distribusi hujan Log Pearson III dan metode Hidrograf Satuan Sintetik SCS diperoleh debit *inflow* maksimum periode ulang 5 dan 20 tahun sebagai berikut: Q₅= 265,836 m³/detik dan Q₂₀= 303,748 m³/detik. Model penelusuran banjir dengan metode numerik di DAS Ngunggan menghasilkan model hubungan debit dan elevasi banjir dengan $h = 0,036 \cdot Q^{0,634}$ untuk periode ulang 5 tahun dan $h = 0,036 \cdot Q^{0,635}$ untuk periode ulang 20 tahun. Model hubungan jarak dan elevasi banjir didapatkan persamaan $h = 173,5 \cdot L^{-0,67}$ untuk periode ulang 5 tahun dan $h = 192,6 \cdot L^{-0,67}$ untuk periode ulang 20 tahun. Masing-masing model memberikan keandalan hingga 99%.

Kata Kunci : Penelusuran Banjir, Debit Banjir, HSS SCS, Numerik.

PENDAHULUAN

Banjir merupakan suatu kejadian yang ditandai dengan naiknya muka air melebihi kapasitas volume tampungan air semisal sungai atau saluran air. Banjir dapat diprediksi dengan melihat fenomena alam seperti curah hujan yang tinggi. Terjadinya banjir sulit untuk diprediksi apabila datang secara tiba-tiba. Banjir akan mengakibatkan permasalahan dan kerugian baik materiil maupun dapat memakan korban jiwa. Sehingga diperlukan suatu prediksi sebagai peringatan dini akan timbulnya banjir.

Lokasi penelitian ini berada di DAS Ngunggahan yang merupakan bagian dari wilayah DAS Bengawan Solo. Penelitian ini dilakukan di Sungai Ngunggahan karena Sungai Bengawan Solo merupakan sungai yang sering mengalami banjir. DAS Ngunggahan terletak di Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah bagian selatan. Muara dari Sungai Ngunggahan adalah di Waduk Gajah Mungkur Kabupaten Wonogiri. Secara astronomis letak DAS Ngunggahan berada diantara $7^{\circ} 57' 32,55''$ LS – $110^{\circ} 50' 40,15''$ BT. Luas DAS Ngunggahan sebesar $37,557$ km².

Karakter sungai pada DAS Ngunggahan telah berubah akibat adanya perubahan tata guna lahan yang memicu sedimentasi/pendangkalan pada luas penampang sungai dan juga memperbesar kapasitas debit yang masuk ke badan sungai. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis penelusuran banjir pada DAS Ngunggahan sebagai langkah pencegahan dampak yang merugikan akibat banjir. Penelusuran banjir di sungai Ngunggahan ini ditinjau dengan metode numerik.

LANDASAN TEORI

Data

Dalam penelitian ini data yang dibutuhkan adalah data sekunder berupa data hujan sebagai data masukan analisis. Data didapatkan dari Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Bengawan Solo. Rentang data hujan yang digunakan adalah tahun 2002-2014. Data diambil dari Stasiun hujan Kedunguling, Eromoko, dan Wuryantoro. Ketiga stasiun hujan tersebut mewakili hujan yang terjadi di DAS Ngunggahan.

Uji Kepanggahan Hujan

Data harus diuji kepenggahannya terlebih dahulu. Uji kepenggahan (konsistensi) data digunakan untuk mengetahui kepenggahan terhadap suatu seri data yang diperoleh. Uji kepenggahan harus dilakukan untuk suatu data hujan yang akan dihitung karena data hujan yang akan dihitung harus panggah agar hasilnya tidak meragukan. Uji kepenggahan dalam penelitian ini menggunakan cara RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*).

Hujan Wilayah

Curah hujan yang diperlukan untuk analisis hujan rancangan adalah data hujan daerah aliran sungai atau hujan kawasan harian maksimum tahunan. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan dalam perhitungan hujan wilayah adalah poligon *thiessen*. Adapun persamaan poligon thiessen sebagai berikut:

$$\text{---} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- = luas wilayah (km²),
- = luas daerah pengaruh pos ke – n (km²),
- = tinggi curah hujan rerata areal (mm),
- = tinggi curah hujan pos ke – n (mm).

Perhitungan Dispersi

Dalam analisis penelitian ini pengukuran dispersi dibutuhkan untuk menentukan jenis sebaran data hujan. Pengukuran dispersi terdiri dari standar deviasi (S), koefisien variasi (Cv), pengukuran kurtois (Ck), dan koefisien kemencengan (Cs). Dalam menentukan koefisien dispersi tidak dilakukan perhitungan. Akan tetapi, diambil dari nilai yang terdapat di *Microsoft Excel 2007*.

Pengujian Kecocokan Sebaran

Penelitian ini menggunakan uji validitas untuk jenis distribusi yang telah ditentukan dengan menggunakan uji smirnov-kolmogorov. Uji smirnov- kolmogorov adalah uji distribusi terhadap penyimpangan data ke arah horisontal untuk mengetahui suatu data sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih atau tidak (Lili Montarcih, 2010).

Prosedur perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Mengurutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data,
2. Menentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya),

3. Dari kedua nilai peluang tersebut kemudian menentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.
4. Menentukan nilai kritis D_0 .

Curah Hujan Rancangan

Prosedur perhitungan :

1. Mengubah data debit/hujan sebanyak n buah (X_1, X_2, \dots, X_n) menjadi $\text{Log } X_1, \text{Log } X_2, \dots, \text{Log } X_n$
2. Menghitung harga rata-rata
3. Menghitung standar deviasi
4. Menghitung koefisien kemencengan
5. Mencari nilai G
6. Menghitung nilai ekstrim (logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki) :
7. Mencari antilog dari $\text{Log } Q$ untuk mendapatkan hujan (debit banjir) rancangan yang dikehendaki.

Analisis Pola Hujan

Dalam penelitian ini untuk menentukan pola intensitas hujan menggunakan cara *Modified Mononobe*. Perhitungan intensitas hujan menggunakan persamaan *Mononobe* (Soemarto, 1995).

$$I = \frac{R_{24}}{t} \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

- I = Intensitas Hujan,
- t = waktu,
- R_{24} = tinggi hujan rancangan dalam 24 jam.

Metode SCS (*Soil Conservation Service*)

Variabel SCS

Infiltrasi Maksimum

$$S = \dots\dots\dots(3)$$

dengan:

CN = Modifikasi Angka-angka Kurve Limpasan

Kedalaman Hujan Efektif (P_e)

$$P_e = \dots\dots\dots(4)$$

dengan:

- P = Kedalaman hujan,
- S = Infiltrasi maksimum.

Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi (T_c) dihitung menggunakan persamaan

$$T_c = 0,39 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \dots\dots\dots(5)$$

dengan:

- L = Panjang sungai yang ditinjau (km),
- S = Kemiringan saluran sungai.

Waktu Puncak (T_p)

Waktu puncak (T_p) dihitung menggunakan persamaan

$$T_p = \dots\dots\dots + t_p \dots\dots\dots(6)$$

dengan:

- T_c = Waktu konsentrasi (jam),
- $t_p = 0,51 \times L^{0,8}$.

Debit Puncak (q_p)

Debit puncak (q_p) dihitung menggunakan persamaan

$$q_p = \dots\dots\dots \times 484 \dots\dots\dots(7)$$

dengan:

- A = Luas catchment area (in)
- T_o terkoreksi = $\dots\dots\dots$

Debit Puncak Limpasan (Qp)

Debit puncak limpasan (Qp) dihitung menggunakan persamaan

$$Q_p = q_p \times P_e \times 0,028 \dots\dots\dots (8)$$

dengan:

q_p = Debit Puncak (in)

P_e = Kedalaman hujan efektif (in)

Penuluruhan Banjir Metode Numerik

Penuluruhan banjir numerik diperoleh dari penyederhanaan persamaan Saint Venant. Persamaan Saint Venant menyatakan hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan momentum. Penyelesaian persamaan kontinuitas dan momentum diselesaikan secara numerik skema linear (Chow dkk, 1988).

Persamaan Saint Venant untuk menyelesaikan penuluruhan debit dengan metode numerik adalah :

$$\alpha = \frac{Q_j - Q_{j-1}}{P_j - P_{j-1}} \dots\dots\dots (9)$$

$$= \frac{Q_j - Q_{j-1}}{P_j - P_{j-1}} \dots\dots\dots (10)$$

dengan:

Q = debit aliran (m³/detik),

β = koefisien momentum ,

Δt = interval waktu (detik),

Δx = interval jarak (meter),

n = koefisien kekasaran manning,

α = kecepatan aliran (m/detik)

P = lebar permukaan atas sungai (meter),

S₀ = kemiringan (*slope*) dasar aliran,

i = step jarak,

j = step waktu.

Model Banjir

Hasil model penuluruhan banjir metode numerik adalah berupa tinggi muka air yang didapat dari hasil perhitungan penuluruhan banjir. Rerata tinggi muka air dari perhitungan model akan dibandingkan dengan rerata tinggi muka air terhitung penuluruhan banjir metode numerik. Rerata tinggi muka air terhitung banjir metode numerik memiliki interval kepercayaan dengan persamaan (Sudjana,1996).

$$\bar{X} \pm t_p \frac{S}{\sqrt{n}} = \dots\dots\dots (11)$$

dengan:

X_{rata-rata} = rata-rata hitung,

t_p = nilai t dari daftar distribusi pada p = 1/2 (1+α) dan dk = n-1

μ = rata-rata hitung kondisi sebenarnya,

S = deviasi standar,

n = jumlah data.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dari instansi terkait.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah di Daerah Aliran Sungai Ngunggungahan bagian dari DAS Bengawan Solo Hulu 3 di Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah.

Metode yang Digunakan

Metode yang digunakan dalam perhitungan hidrograf adalah HSS SCS. Sedangkan untuk penuluruhan banjir menggunakan metode numerik dengan pendekatan persamaan Saint-Venant.

Tahapan Penelitian

1. Pengolahan data hujan
2. Pengolahan hujan periode ulang
3. Pengolahan hidrograf debit dengan HSS SCS
4. Perhitungan penelusuran banjir metode numerik
5. Analisis Model
Analisis model dilakukan untuk mengetahui hubungan antara model hubungan debit dengan elevasi muka air dan antara hubungan jarak dengan elevasi muka air.
6. Verifikasi Model
Verifikasi model dilakukan untuk mengetahui keandalan (tingkat kepercayaan) dari model yang dianalisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kepanggahan Hujan

Nilai $QRAPS$ = dibandingkan dengan nilai kritik dengan $n = 13$ didapatkan $QRAPS_{kritik} = 1,329$.

Disimpulkan $QRAPS = < 1,329$, menunjukkan bahwa data hujan pada Stasiun hujan Eromoko, Wuryantoro, dan Kedunguling panggah.

Hujan Wilayah

Untuk menentukan hujan wilayah di DAS Ngunggahan digunakan metode Poligon *Thiessen*. Dari poligon *thiessen* dengan menggunakan program *ArGIS* didapatkan luas daerah tangkapan hujan pada setiap stasiun:

- A_1 (STA Eromoko) = 1,986 km², dengan koefisien thiessen sebesar 0,053
 A_2 (STA Wuryantoro) = 0,265 km², dengan koefisien thiessen sebesar 0,007
 A_3 (STA Kedunguling) = 35,305 km², dengan koefisien thiessen sebesar 0,940
Luas total DAS Ngunggahan yaitu 37,557 km².

Penentuan Distribusi Hujan

Perhitungan parameter statistik dengan menggunakan *Excel* didapatkan nilai $C_s = -0,191$ dan $C_k = 3,029$. Nilai yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa metode yang dipakai dalam distribusi hujan adalah Log Pearson Tipe III, karena parameter nilai C_s dan C_k tidak memenuhi kriteria Gumbell dan Normal.

Uji Kesesuaian

Metode distribusi hujan yang dipilih selanjutnya dilakukan uji kesesuaian dengan Smirnov Kolmogorov. Nilai D_{maks} dibandingkan dengan nilai D_o . Nilai D_o diperoleh $D_o = 0,366$. Nilai D_{maks} didapatkan 0,111. Karena nilai D_{maks} lebih kecil daripada nilai D_o ($0,111 < 0,366$) maka persamaan distribusi Log Pearson III dapat diterima.

Curah Hujan Rancangan

Perhitungan curah hujan dengan metode Log Pearson tipe III, didapatkan:

$$\begin{aligned} \text{Log } X_i &= 1,938 \\ S_d &= 0,108 \\ C_s &= -0,62 \end{aligned}$$

Nilai G didapatkan untuk periode ulang 5 tahun sebesar 0,857 dan periode ulang 20 tahun sebesar 1,393. Setelah nilai G didapat, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai ekstrim (logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki),

$$\begin{aligned} \text{Contoh perhitungan pada skala ulang 5 tahun sebagai berikut :} \\ &= 1,938 + (0,857 \times 0,108) \\ &= 2,031 \end{aligned}$$

Selanjutnya Mencari antilog dari Log Q untuk mendapatkan hujan (debit banjir) rancangan yang dikehendaki.

Contoh perhitungan skala ulang 5 tahun :

$$\begin{aligned} R_t &= 10^{\text{Log } Q} \\ &= 10^{2,031} \\ &= 107,283 \end{aligned}$$

Analisis Pola Hujan

Pola hujan yang dipakai pada DAS Ngunggahan adalah *Modified Mononobe*. Sebelum masuk ke rumus *Modified Mononobe*, dilakukan perhitungan dengan rumus *Kirpich* untuk menentukan persentase sebaran hujan di DAS Ngunggahan.

$$t = 0,0195 = \dots\dots\dots (12)$$

dari rumus *Kirpich* diatas didapatkan nilai $t = 1,434$ jam (2 jaman).

Selanjutnya hasil perhitungan hujan rancangan dimasukkan kedalam persamaan

$$\dots\dots\dots (13)$$

Contoh perhitungan hujan rencana kala ulang 5 tahun jam ke-1 adalah:

- $R_{t5} = 107,283 \text{ mm}$

$$\dots\dots\dots = 37,193 \text{ mm/jam}$$

Metode SCS

Dari perhitungan didapatkan hasil $T_c = 8,431 \text{ jam}$, $T_p = 1,815 \text{ jam}$, $q_p = 3234,0527 \text{ in}$, dan $Q_p = 328,7843 \text{ m}^3/\text{detik}$. Kemudian, debit maksimum SCS didapatkan pada jam ke 2 untuk periode ulang 5 dan 20 tahun, masing-masing sebesar sebesar $265,836 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan $303,747 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Penelusuran Banjir Metode Numerik

Analisis menggunakan metode persamaan dasar Saint-Venant yang dilakukan secara bertahap dimana masing-masing tahap terdapat masukkan sesuai data dari tahap tersebut. Model sungai dalam penelitian ini mengabaikan belokan sungai Ngunggahan dan dibagi menjadi 11 pias dengan menganggap sungai sebagai saluran lurus linear.

Pemodelan pada penelitian ini menganggap bahwa lebar saluran (B) dan koefisien manning sepanjang saluran dianggap konstan. Penelusuran banjir pada penelitian ini dihitung dengan persamaan Saint-Venant. Contoh perhitungan periode ulang 5 tahun adalah:

Pias pertama

Perhitungan pada $i = 0$ dan $j = 0$ dengan data masukan

- $B = 30 \text{ meter (ArcGIS)}$
- $\beta = 1,010$
- $\Delta t = 1 \text{ jam} = 3600 \text{ detik}$
- $n = 0,035$
- $\Delta x = 1057,836 \text{ meter}$
- $\text{Slope} = 0,0462$
- Data debit masukan adalah Q5 Unit HSS SCS

Analisis debit dihitung, Adalah :

$$= 61,149 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 0,000 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\dots\dots\dots (14)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$= 47,161 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Hasil debit dari pias pertama akan menjadi masukan pada pias kedua, demikian seterusnya hingga pias terakhir.

Penyelesaian Model

Model dibangun dari hasil perhitungan penelusuran banjir metode numerik. Debit pada tiap titik penelusuran banjir dihitung dengan persamaan:

$$Q = A \cdot (- \dots\dots\dots) \dots\dots\dots (15)$$

$$Q = (B \cdot h) \cdot (- \dots\dots\dots) \dots\dots\dots (16)$$

Contoh perhitungan pada debit awal di pias kedua adalah :

Debit hasil penelusuran numerik :

$$= 43,875 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dengan menggunakan iterasi nilai h untuk menghasilkan $Q = 43,875 \text{ m}^3/\text{detik}$, maka $h = 0,428 \text{ m}$.

$$Q = (30 \times 0,428) \times (- \dots\dots\dots)$$

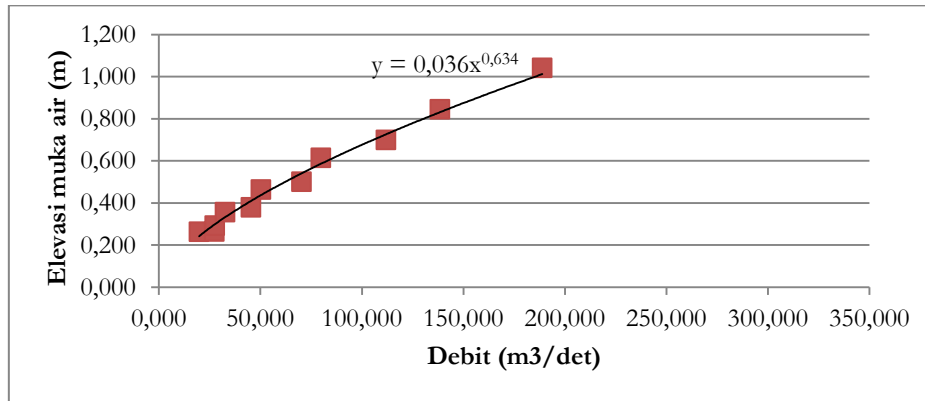
$$Q = 43,875 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Hasil perhitungan untuk debit $Q = 43,875 \text{ m}^3/\text{detik}$, maka elevasi muka air (h) = 0,428 m. Perhitungan iterasi elevasi muka air dilakukan pada tiap titik di penelusuran banjir.

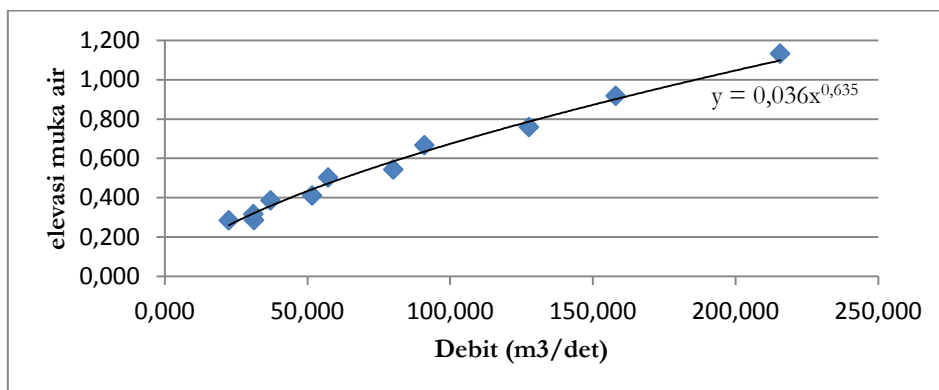
Berdasarkan analisis model penelusuran banjir dengan metode numerik di DAS Ngunggahan didapatkan persamaan model sebagai berikut:

Hubungan debit dan tinggi Muka Air

Debit dan tinggi muka air yang telah didapat kemudian dibuat grafik hubungan keduanya. Grafik hubungan debit dan tinggi muka air maksimum pada hasil perhitungan penelusuran banjir metode numerik diperlihatkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Grafik Hubungan Tinggi Muka air Maksimum dan Debit Maksimum Q5



Gambar 2. Grafik Hubungan Tinggi Muka Air Maksimum dan Debit Maksimum Q20

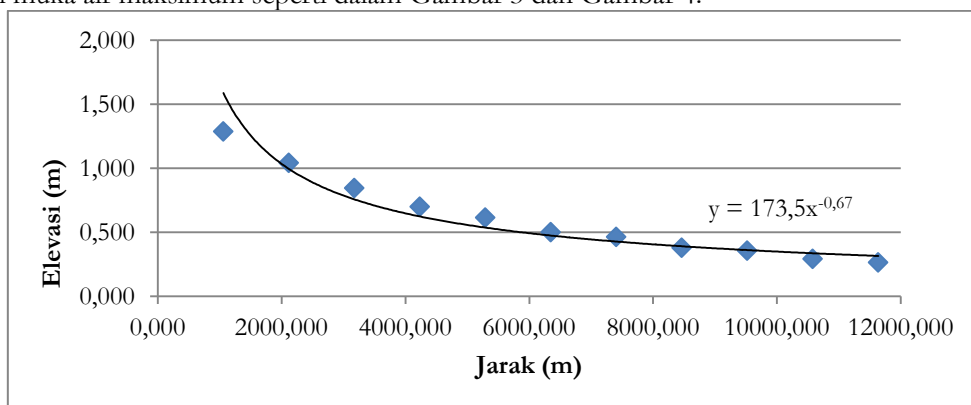
Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan hubungan antara debit maksimum dan tinggi muka air maksimum. Grafik hubungan debit dan tinggi menunjukkan persamaan yang menyatakan hubungan tinggi muka air dan debit yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$h = 0,036 \cdot Q^{0,634} \quad (\text{Untuk Q5})$$

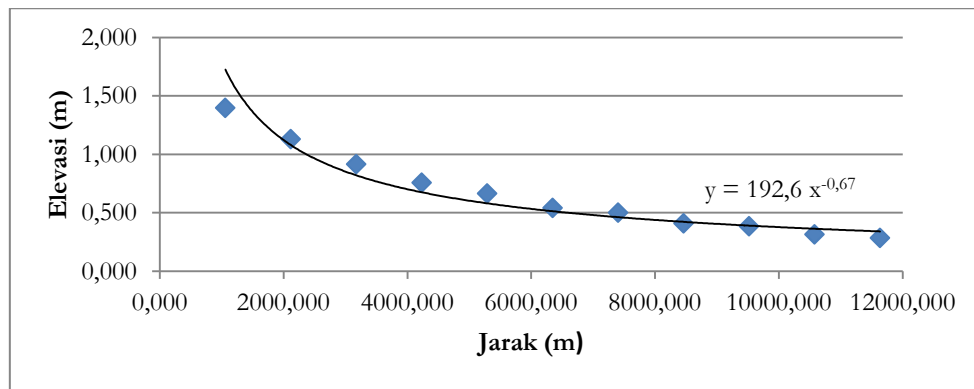
$$h = 0,036 \cdot Q^{0,635} \quad (\text{Untuk Q20})$$

Hubungan Jarak dan Tinggi Muka Air

Jarak dan tinggi muka air yang telah didapat kemudian dibuat grafik hubungan keduanya. Grafik hubungan jarak dengan tinggi muka air maksimum seperti dalam Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Grafik Hubungan Jarak dan Tinggi Muka Air Maksimum Q5



Gambar 4. Grafik Hubungan Jarak dan Tinggi Muka Air Maksimum Q20

Grafik 3 dan 4 menggambarkan hubungan jarak dan tinggi muka air maksimum yang dihasilkan. Model hubungan jarak dan tinggi muka air maksimum dinyatakan dengan persamaan :

$$h = 173,5 \cdot L^{-0,67} \quad (\text{Untuk } Q_5)$$

$$h = 192,6 \cdot L^{-0,67} \quad (\text{Untuk } Q_{20})$$

Keandalan model hubungan debit dengan tinggi muka air maksimum dapat diterima pada toleransi $\alpha = 1\%$ memberikan keandalan sampai 99% dan model hubungan jarak dengan tinggi muka air maksimum dapat diterima pada toleransi $\alpha = 1\%$ memberikan keandalan sampai 99%.

SIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan debit banjir rencana dengan metode HSS SCS periode ulang sebagai berikut : $Q_5 = 265,863 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan $Q_{20} = 303,747 \text{ m}^3/\text{detik}$.
2. Berdasarkan analisis model penelusuran banjir dengan metode numerik di DAS Ngungganah didapatkan:
 - a. Persamaan model penelusuran banjir dengan menggunakan metode numerik di DAS Ngungganah dinyatakan:
Hubungan debit dan Tinggi Muka Air
 $h = 0,036 \cdot Q^{0,634}$ (Untuk Q_5)
 $h = 0,036 \cdot Q^{0,635}$ (Untuk Q_{20})
Hubungan Jarak dan Tinggi Muka Air
 $h = 173,5 \cdot L^{-0,67}$ (Untuk Q_5)
 $h = 192,6 \cdot L^{-0,67}$ (Untuk Q_{20})
 - b. Keandalan model persamaan berdasarkan debit di DAS Ngungganah dengan penelusuran banjir metode numerik adalah:
 - Model hubungan debit dengan elevasi maksimum dapat diterima pada toleransi $\alpha = 1\%$ memberikan keandalan sampai 99%.
 - Model hubungan jarak dengan elevasi maksimum dapat diterima pada toleransi $\alpha = 1\%$ memberikan keandalan sampai 99%.

TERIMAKASIH

Saya ucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing skripsi Dr. Ir. Rr. Rintis Hadiani, MT dan Ir. Solichin, MT, yang telah membimbing saya hingga selesainya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anna, Merry. 2010. Analisis Banjir Tahunan DAS Ngungganah Kabupaten Wonogiri. Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Asdak, Chay. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada Press.
- Asdak, Chay. 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada Press.
- Bonnier. 1980. *Probability Distribution and Probability Analysis*, DPMA, Bandung.
- C.D. Soemarto, 1995. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Harto, Sri. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia.
- Montarich, Lily. 2010. *Penelusuran Banjir Lewat Sungai : studi kasus sungai Dodokan*. Malang : CV. Citra Malang.
- Ponce, V.M. 1989. *Engineering Hydrology*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Siing, M. 2011. Penyelesaian Numerik Model Penelusuran Banjir Menggunakan Metode Volume Hingga. Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember .
- Sudjana. 1996. *Metode Statistika*. Bandung: Tarsito.

- Susilowati. 2007. Analisis Hidrograf Aliran Sungai dengan Adanya Beberapa Bendung Kaitannya dengan Konservasi Air. Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Triadmojo, Bambang. 1992. *Hidraulika II*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Triadmojo, Bambang. 1996. *Pelabuhan*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Triadmojo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Tunnisa, L. 2014. Potensi Banjir di DAS Siwaluh Menggunakan *Metode Soil Conservation Service* dan *Soil Conservation Service* Modifikasi Sub DAS Pengairan Jateng. Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Van Te Chow. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company