

ANALISIS DEBIT BANJIR SUNGAI MOLOMPAR KABUPATEN MINAHASA TENGGARA

Dewi Sartika Ka'u

Soekarno, Isri R. Mangangka

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email : ddweeska@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Molompar merupakan salah satu sungai yang ada di daerah Minahasa Tenggara dengan panjang sungai 27,9 Km dan luas DAS sebesar 161,516 Km². Sungai ini sering meluap pada musim hujan sehingga menggenangi kawasan pemukiman penduduk disekitarnya. Debit air sungai yang besar dapat mengancam stabilitas tebing di beberapa lokasi sepanjang sungai. Untuk mengurangi resiko terjadinya kerusakan akibat meluapnya air sungai dibutuhkan upaya pengendalian banjir yang dapat dilakukan dengan baik apabila debit banjir rencana diketahui.

Analisis debit banjir Sungai Molompar dilakukan dengan menggunakan tujuh metode yaitu HSS Gama I, HSS Snyder, HSS Nakayasu, Metode Rasional, Melchior, Weduwen, dan Haspers dengan menggunakan data curah hujan stasiun Noongan tahun 2005 s/d 2014. Pengukuran parameter-parameter DAS Molompar menggunakan peta rupa bumi dengan skala 1:50.000.

Setelah melakukan kalibrasi pada curah hujan tahun 2007 kemudian dianalisis dengan berbagai metode, disimpulkan bahwa metode yang sesuai dengan kondisi DAS Molompar yang paling mendekati debit banjir lapangan saat terjadi banjir pada tahun 2007 yaitu debit banjir metode HSS Snyder dengan debit banjir sebesar 322,326 m³/detik.

Kata kunci : Debit banjir, Hidrograf, Sungai Molompar

PENDAHULUAN

Latar Belakang Penelitian

Molompar merupakan salah satu desa yang berada di kecamatan Belang, Kabupaten Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara. Sungai Molompar merupakan salah satu sungai yang sering meluap di saat musim hujan sehingga menggenangi kawasan pemukiman penduduk dan area pertanian serta berbagai prasarana disekitarnya. Debit air sungai yang besar dapat mengancam stabilitas tebing di beberapa lokasi sepanjang sungai.

Untuk mengurangi resiko terjadinya kerusakan akibat meluapnya air sungai dibutuhkan upaya pengendalian banjir. Perencanaan pengendalian banjir di suatu DAS dapat dilakukan dengan baik apabila debit banjir rencana diketahui. Debit banjir dapat diperoleh dengan melakukan analisis hidrologi.

Rumusan Masalah

Perlunya dilakukan analisis data hidrologi untuk mendapatkan debit banjir Sungai Molompar yang dapat digunakan sebagai dasar informasi bahaya banjir yang mungkin terjadi di tahun-tahun mendatang.

Pembatasan Masalah

1. Analisis debit banjir maksimum untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.
2. Data hujan menggunakan data hujan harian maksimum selama 10 tahun dari tahun 2005-2014 dari stasiun pencatat curah hujan Noongan.
3. Debit banjir dihitung menggunakan metode Rasional, Melchior, Haspers, Weduwen, HSS Gama I, HSS Snyder dan HSS Nakayasu.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui debit banjir maksimum dengan menggunakan metode yang sesuai dengan kondisi DAS Molompar.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai debit banjir Sungai Molompar kepada masyarakat dan pihak terkait untuk upaya pengendalian banjir.

LANDASAN TEORI

Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses berkelanjutan dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi. Air di permukaan tanah dan laut menguap ke udara. Uap air tersebut bergerak dan naik ke atmosfer, yang kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Selanjutnya titik-titik air tersebut jatuh sebagai hujan ke permukaan laut dan daratan. Hujan yang jatuh sebagian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (intersepsi) dan selebihnya sampai ke permukaan tanah. Sebagian air hujan yang sampai ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan sebagian lainnya mengalir di atas permukaan tanah (aliran permukaan atau *surface run off*) mengisi cekungan tanah, danau, dan masuk ke sungai dan akhirnya mengalir ke laut. Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir di dalam tanah (perkolasi) mengisi air tanah yang kemudian keluar sebagai mata air atau mengalir ke sungai. Akhirnya aliran air di sungai akan sampai ke laut. Proses tersebut berlangsung terus menerus yang disebut dengan siklus hidrologi.

Daerah Aliran Sungai

DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi dengan garis-garis kontur untuk menentukan arah dari limpasan permukaan. Limpasan berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis-garis kontur. Daerah yang dibatasi oleh garis yang menghubungkan titik-titik tertinggi tersebut adalah DAS.

Analisis Data Outlier

Uji data outlier dilakukan untuk mengetahui apabila ada data curah hujan yang menyimpang secara ekstrim (terlalu tinggi atau terlalu rendah). Uji data outlier dilakukan untuk data outlier tinggi dan data outlier rendah dengan syarat-syarat

pengujian berdasarkan koefisien skewness antara lain :

- Bila $Cs_{Log} > 0,4$ maka uji data outlier tinggi, koreksi data
- Bila $Cs_{Log} < -0,4$ maka uji data outlier rendah, koreksi data
- Bila $Cs_{-0,4} < Cs_{Log} < 0,4$ maka uji data outlier tinggi dan rendah, koreksi data.

Uji data outlier tinggi dan uji data outlier rendah menggunakan persamaan berikut ini :

$$a. \text{ uji data outlier tinggi} \\ \text{Log } X_h = \text{Log } X + K_n \cdot S_{log} \quad (1)$$

$$b. \text{ uji data outlier rendah} \\ \text{Log } X_l = \text{Log } X - K_n \cdot S_{log} \quad (2)$$

Parameter Statistik

Parameter statistik yang digunakan dalam analisis data hidrologi yaitu : rata-rata hitung, simpangan baku (*standar deviasi*), koefisien variasi, koefisien kemencengan (*Skewness*), koefisien *kurtosis*.

Distribusi Peluang

Distribusi normal mempunyai dua parameter yaitu koefisien kurtosis $Ck = 3$ dan koefisien kemencengan $Cs = 0$. Persamaan distribusi normal :

$$X = \bar{X} + k \cdot S \quad (3)$$

Distribusi tipe 1 Gumbel mempunyai koefisien kemencengan $Cs = 1,139$ dan $Ck = 5,4$. Persamaan distribusi Gumbel tipe 1 :

$$x = \bar{x} + \frac{s}{sn} (Y - Yn) \quad (4)$$

Distribusi log normal dua parameter yaitu $Cs = Cv^3 + 3Cv$. Persamaan transformasi distribusi log normal dua parameter :

$$\text{Log } X = \sqrt{\log \bar{X}} + k \cdot S_{log} \quad (5)$$

Distribusi Log Pearson III merupakan hasil transformasi dari Distribusi Pearson Tipe III dengan menggantikan variant menjadi nilai logaritmik. Persamaan Distribusi Log Pearson Tipe III :

$$\text{Log } X = \overline{\log \bar{X}} + k \cdot S_{log} X \quad (6)$$

Uji Kecocokan (*The Goodness of Fit Test*)

Uji kecocokan dimaksudkan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang nyata antara besarnya debit maksimum tahunan hasil pengamatan lapangan dengan hasil perhitungan.

Uji kecocokan Smirnov – Kolmogorov sering juga disebut uji kecocokan non parametrik karena

pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Hidrograf Satuan Sintetik Gama I

HSS Gama I menggunakan beberapa parameter DAS yang sangat berpengaruh dalam proses transformasi hujan menjadi aliran. Parameter yang dimaksud dapat diukur dari peta topografi dengan skala 1:50.000 atau yang lebih besar. Secara lengkap parameter yang digunakan dalam HSS Gama I adalah Faktor sumber (SF, *Source Factor*), Frekuensi sumber (SN, *Source Frequency*), Faktor lebar (WF, *Width Factor*), Luas DAS sebelah hulu (RUA, *Relative Upstream Area*), Faktor simetri (SIM, *Symmetry factor*), Jumlah pertemuan sungai (JN, *Joint frequency*), dan Kerapatan jaringan-kuras (D, *Drainage density*).

HSS Gama I terdiri dari empat variabel pokok yaitu

- Waktu Naik (TR)

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100 SF}\right)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \quad (7)$$
- Debit Puncak (Qp)

$$Qp = 0,1836 A^{0,5886} TR^{-0,4008} JN^{0,2381} \quad (m^3/det) \quad (8)$$
- Waktu Dasar (TB)

$$TB = 27,4132 TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \quad (9)$$
- Koefisien Tampung (K)

$$K = 0,5617 A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \quad (10)$$
- $Qt = Qp \cdot E^{-t/K} \quad (11)$

Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

Unsur-unsur yang terdapat pada HSS Snyder antara lain :

- Debit Puncak (Qp, m³/detik)
- Waktu dasar (Tb, jam)
- Durasi hujan (t_r, jam)

Sedangkan karakteristik DAS yang digunakan antara lain :

- Luas DAS (A, km²)
- Panjang aliran utama (L, km)
- Jarak antara titik berat DAS dengan outlet yang diukur di sepanjang aliran utama (Lc, km)

Persamaan yang digunakan dalam Hidrograf Satuan Snyder antara lain :

- Debit puncak hidrograf satuan (qp)

$$q_p = Cp \frac{275}{t_p} \quad (12)$$

dengan :

q_p : debit puncak hidrograf satuan

Cp: koefisien kapasitas tampungan Snyder

tp : waktu antara titik berat hujan ke debit puncak

$$tp = Ct \cdot (Lc \cdot L)^n \quad (13)$$

dengan :

Lc : panjang sungai ke titik berat DAS

n : 0,3

Ct : koefisien kelandaian DAS dari Snyder

- Waktu capai puncak (Tp – *Time Rise To Peak*)

Lamanya hujan efektif (tr')

$$t_r' = \frac{t_p}{5,5} \quad (14)$$

Jika t_r' > t_r (asumsi), maka dilakukan koreksi terhadap t_p,

$$t_p' = t_p + 0,25(t_r - t_r') \quad (15)$$

$$\text{Maka: } T_p = \frac{t_p' + t_r}{2} \quad (16)$$

$$\text{Jika } t_r' < t_r \text{ (asumsi), maka: } T_p = t_p + \frac{t_r}{2} \quad (17)$$

- Debit Puncak (Qp)

$$Qp = \frac{qp \cdot A}{1000}; \text{ hujan efektif (asumsi = 1 mm)} \quad (18)$$

dengan:

Qp: debit puncak (m³/detik)

q_p : debit puncak hidrograf(m³/det/km²)

A : Luas DAS (Km²)

- Menentukan grafik hubungan antara Q dan t berdasarkan persamaan Alexsevey:

$$Y = 10^{-a} \left[\frac{(1-x)^2}{x} \right] \quad (19)$$

$$a = (1,32 \cdot \lambda^2) + (0,15 \cdot \lambda) + 0,045 \quad (20)$$

$$\lambda = (Qp \cdot Tp) / (1000 \cdot H.A) \quad (21)$$

$$t = (x) (Tp); X = \frac{t}{t_p} \quad (22)$$

$$Q = (y) (Qp) \quad (23)$$

dengan :

X : fungsi waktu

Y : fungsi debit

Q : debit hidrograf satuan (m³/det)

Qp: debit puncak (m³/det)

Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Bentuk HSS Nakayasu diberikan dalam persamaan berikut :

$$Q_p = \frac{1}{6} \left(\frac{A Re}{0,3 T_p + T_{0,3}} \right) \quad (24)$$

$$T_p = T_g + 0,8 T_r \quad (25)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \quad (L > 15 \text{ km}) \quad (26)$$

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \quad (L < 15 \text{ km}) \quad (27)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (28)$$

dengan :

Q_p : debit puncak banjir

A : luas DAS (km²)

R_e : curah hujan efektif (mm)

- T_p : waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (jam)
- $T_{0,3}$: waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam)
- t_g : waktu konsentrasi
- T_r : satuan waktu dari curah hujan
- α : koefisien karakteristik DAS
- L : panjang sungai utama (km)

Bentuk hidrograf satuan diberikan oleh persamaan berikut :

- a. Keadaan kurva naik Q_a ($0 < t < T_p$)

$$Q = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (29)$$
- b. Keadaan kurva turun Q_d1 ($T_p < t < T_{0,3}$)

$$Q = 0,3 \left(\frac{t-t_p}{T_{0,3}}\right) Q_p \quad (30)$$
- c. Keadaan kurva turun Q_d2 ($T_{0,3} < t < T_{0,3}^2$)

$$Q = Q_p \times 0,3 \frac{[(t-T_p)+(0,5T_{0,3})]^{1,5} T_{0,3}^{1,5}}{(1,5T_{0,3})^{1,5}} \quad (31)$$
- d. Keadaan kurva turun Q_d3 ($t > T_{0,3}^2$)

$$Q = Q_p \times 0,3 \frac{[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})]^{2,4} T_{0,3}^{2,4}}{(2T_{0,3})^{2,4}} \quad (32)$$

Metode Rasional

Rumus yang digunakan untuk perhitungan metode rasional adalah :

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (33)$$

- dimana :
- Q : debit banjir rencana (m^3/det)
 - C : koefisien pengaliran
 - I : intensitas hujan maksimum
 - A : luas daerah aliran sungai (km^2)

- Intensitas Curah Hujan (I)

Jika data hujan yang ada hanya terdiri dari data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan menggunakan rumus Mononobe berikut ini :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \frac{24^{2/3}}{t_c} \quad (34)$$

- dimana :
- I : intensitas curah hujan
 - R_{24} : curah hujan maksimum (mm)
 - t_c : lamanya curah hujan (jam)

- Waktu Konsentrasi (tc)

Waktu konsentrasi (durasi hujan) adalah waktu perjalanan aliran dari jarak terjauh ke lokasi pengamatan. Nilai t_c ditentukan dengan menggunakan beberapa parameter seperti panjang sungai dan beda tinggi.

$$t_c = \frac{L}{V}; \quad (35)$$

$$V = 72 \left(\frac{H}{L}\right)^{0,6} \quad (36)$$

- dimana :
- L : Panjang sungai (km)
 - V : Kecepatan perambatan banjir

H : Beda tinggi antara elevasi sungai di hulu dan di hilir.

Metode Melchior

Metode Melchior digunakan untuk memperkirakan debit banjir rencana untuk daerah aliran sungai (catchment area) yang luasnya lebih besar dari $100 km^2$.

- Menentukan nilai koefisien pengaliran (α)
Melchior menetapkan koefisien pengaliran sebagai angka perbandingan antara limpasan dan curah hujan total, yang besarnya tergantung dari kemiringan, vegetasi, keadaan tanah, temperatur angin penguapan dan lama hujan. Pada umumnya koefisien pengaliran ini bernilai antara 0,42-0,62.
- Menentukan koefisien reduksi (β)
Untuk mendapatkan nilai β , maka harus dihitung terlebih dahulu luasan elipsnya, dimana sumbu pendeknya tidak boleh melebihi $2/3$ dari sumbu terpanjangnya.

$$F = (\pi) \cdot L_1 \cdot L_2 \quad (37)$$

- dimana :
- F : Luas Elips (km^2)
 - L_1 : Panjang sumbu terpanjang (km)
 - L_2 : Panjang sumbu terpendek (km), ($L_2 < 2/3 L_1$)

Setelah nilai F diperoleh, kemudian diplot ke dalam tabel nilai taksiran curah hujan maksimum tiap-tiap km^2 , lalu diinterpolasi untuk memperoleh nilai curah hujan maksimum. Kemudian menghitung nilai β dengan persamaan berikut.

$$F = \frac{1970}{\beta - 0,12} - 3960 + 1720\beta \quad (38)$$

- Menentukan Intensitas hujan (I)
Intensitas hujan ditentukan dengan persamaan berikut :

$$I = \frac{10x \beta X R_{24} max}{36 x t_c} \quad (39)$$

- dimana :
- β : Koefisien reduksi
 - R_{24} : Curah hujan harian (mm)
 - t_c : waktu konsentrasi (jam)

$$t_c = \frac{10 L}{36 v} \quad (40)$$

- dimana :
- t_c : Waktu konsentrasi (jam)
 - L : Panjang sungai (km)
 - v : kecepatan aliran (m/detik)

$$v = 1,31(q \times s^2)^{0,2} \quad (41)$$

dimana :

v : kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

q : debit perkiraan (m³/detik)

s : kemiringan rata-rata sungai

Menghitung nilai I dilakukan dengan cara coba-coba sebab nilai tc bergantung pada nilai v yang bergantung pada nilai q yang bergantung pula pada nilai I yang justru dicari nilainya. Untuk keperluan perhitungan coba-coba nilai I dapat digunakan dari tabel Perkiraan Intensitas Hujan harian menurut Melchior.

Nilai I yang dipergunakan dalam persamaan di atas perlu ditambah dengan persentase tertentu, tergantung pada nilai tc yang dapat dilihat pada tabel penambahan persentase Melchior.

- Menghitung Q_{max}

$$Q = \alpha \cdot I \cdot A \quad (42)$$

dimana :

α : Koefisien limpasan air hujan (*run off*)

I : Intensitas hujan (m³/detik/km²)

A : Luas DAS (km²)

Metode Haspers

Rumus umum yang digunakan untuk perhitungan metode Haspers adalah

$$Q = \alpha \times \beta \times qn \times A \quad (43)$$

dengan :

Q : Debit maksimum (m³/detik)

α : Koefisien limpasan air hujan

β : Koefisien reduksi

qn : Intensitas hujan (m³/detik/km²)

A : Luas DAS (km²)

- Koefisien *Run Off* (α)

$$\alpha = \frac{1+0,012 \cdot A^{0,7}}{1+0,075 \cdot A^{0,7}} \quad (44)$$

- Koefisien Reduksi (β)

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t+3.70.10^{-0.4t}}{t^2+15} \times \frac{A^{0.75}}{12} \quad (45)$$

- Waktu Konsentrasi (t)

$$t = 0.1 \times L^{0.8} \times S^{-0.3} \quad (46)$$

dengan :

L : Panjang sungai utama (km)

S : kemiringan dasar sungai rata-rata

Besarnya curah hujan (r dalam satuan mm) untuk lama hujan tertentu (t dalam satuan jam) dan hujan harian maksimum (R_{2n} dalam satuan mm) dihitung dengan persamaan berikut :

$$r = \frac{t \cdot R_n}{t + 1 - 0.0008 \times (260 - R_n) \times (2 - t)^2} \quad (t < 2 \text{ jam}) \quad (47)$$

$$r = \frac{t \cdot R_n}{t + 1} \quad (2 \text{ jam} < t < 19 \text{ jam}) \quad (48)$$

$$r = 0.707 \times R_n \sqrt{t + 1} \quad (19 \text{ jam} < t < 30 \text{ hari}) \quad (49)$$

- Intensitas hujan dengan periode ulang n (q_n)

$$q_n = \frac{Rn}{3.6 \times t} \quad (50)$$

dimana :

qn : debit banjir dengan periode ulang n (m³/detik/km²)

Rn : curah hujan rencana untuk periode ulang n (mm)

t : waktu konsentrasi (jam)

Metode Weduwen

Metode Weduwen dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot I \cdot A \quad (51)$$

dimana :

Q : debit maksimum (m³/detik)

α : koefisien pengaliran

β : koefisien reduksi

I : Intensitas Hujan Maksimum

A : Luas DAS (km²)

- Koefisien aliran (α)

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta \times I + 7} \quad (52)$$

- Koefisien reduksi (β)

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} \times A}{120 + A} \quad (53)$$

- Waktu Konsentrasi (t)

$$t = 0,125L \cdot Q^{-0,125} \cdot s^{-0,25} \quad (54)$$

- Intensitas Hujan Maksimum (I)

$$I = \frac{67,65}{t + 1,45} \quad (55)$$

Langkah-langkah perhitungan debit maksimum dengan metode weduwen adalah tentukan nilai t, hitung nilai β , hitung nilai I, hitung nilai α , hitung nilai t, cek nilai t yang dihitung apakah sudah sama dengan nilai t yang ditentukan di awal, jika tidak sama maka perhitungan diulangi dari langkah pertama kemudian tentukan nilai α, β , dan I pada saat nilai t sudah tetap (sama dengan nilai t awal). Selanjutnya hitung Q berdasarkan nilai α, β , dan I pada saat nilai t sudah tetap.

METODOLOGI PENELITIAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Sungai Molompar yang menjadi lokasi penelitian terletak di Desa Molompar, Kecamatan Belang Kabupaten Minahasa Tenggara Provinsi Sulawesi Utara. Berdasarkan letak geografisnya Kabupaten

Minahasa Tenggara berada antara 00°50'28" - 01°7'17" Lintang Utara dan 124°32'56" - 124°57'3" Bujur Timur dengan batas wilayah :

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Amurang Timur dan Kecamatan Amurang Kabupaten Minahasa Selatan.
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kecamatan Langowan Kabupaten Minahasa dan Laut Maluku.
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Laut Maluku dan Kecamatan Kotabunan Kabupaten Bolaang Mongondow.
- Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Ranoyapo dan Kecamatan Kumelembuai Kabupaten Minahasa Selatan.

DAS Molompar memiliki panjang 27,9 Km dan Luas 161,51625 Km² dengan muara Sungai berhadapan langsung dengan Laut Maluku. Letak wilayah yang dicakup DAS antara lain Molompar, Tajongan, Liwutung, dan Maulit untuk kecamatan Tombatu, dan Tababo, Watulney tengah, Watulney, Molompar utara, Molompar, Molompar timur untuk kecamatan Belang.

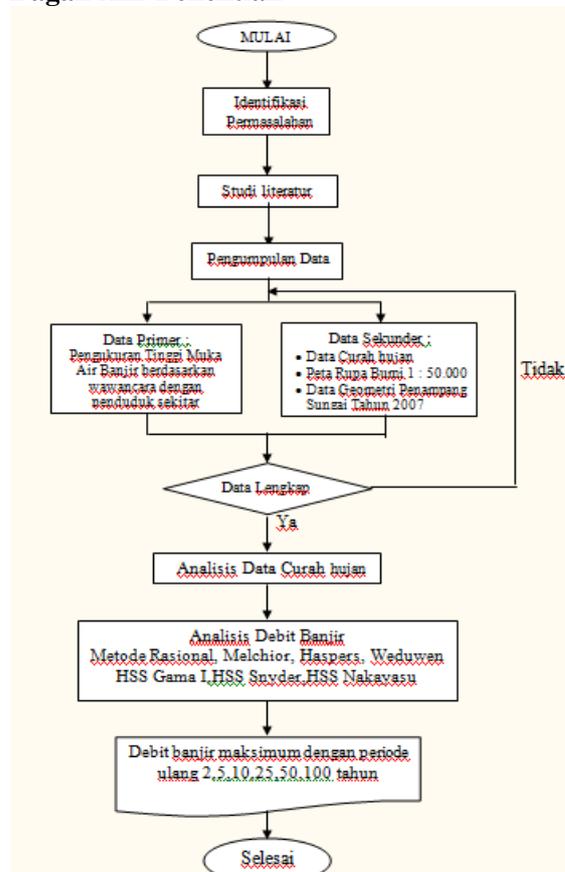
Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses penelitian ini antara lain adalah :

- Mengidentifikasi permasalahan banjir yang terjadi di Daerah Aliran Sungai Molompar.
- Melakukan Studi literatur yang berkaitan dengan permasalahan banjir DAS Molompar.
- Melakukan pengumpulan data yang terdiri dari :
 - data pengukuran tinggi muka air ketika banjir pada tahun 2007 yang diperoleh dari wawancara dengan masyarakat sekitar bantaran sungai
 - data curah hujan selama 10 Tahun dari stasiun Noongan, peta rupa bumi Amurang, Langowan, Belang, dan Kotabunan dengan skala 1:50.000 serta data geometri penampang sungai tahun 2007.
- Melakukan analisis data curah hujan yang telah diperoleh kemudian menganalisis data-data tersebut dengan menggunakan metode-metode yang telah disebutkan sebelumnya sehingga

diperoleh debit banjir maksimum dengan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

Bagan Alir Penelitian



ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan

Data curah hujan harian maksimum yang digunakan dalam analisis ini diperoleh dari data BWSS I dengan periode pencatatan tahun 2005 – 2014 pada pos hujan yang ada di sekitar DAS Molompar yaitu Stasiun Noongan.

Tabel 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum

| No | Tahun | Sta Noongan |
|----|-------|-------------|
| 1 | 2005 | 90 |
| 2 | 2006 | 87 |
| 3 | 2007 | 107 |
| 4 | 2008 | 57.6 |
| 5 | 2009 | 98.2 |
| 6 | 2010 | 54 |
| 7 | 2011 | 116.4 |
| 8 | 2012 | 94.8 |
| 9 | 2013 | 84.6 |
| 10 | 2014 | 100 |

(Sumber : BWSSI)

Pemilihan Tipe Distribusi berdasarkan Parameter Statistik

Hasil tinjauan berdasarkan parameter statistik pada tipe distribusi selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Analisis Tipe Distribusi Curah Hujan

| No | Tipe Distribusi | Syarat Parameter Statistik | Parameter |
|----|-----------------|--|-----------|
| 1 | Normal | $C_s \approx 0$ | 0 |
| | | $C_k \approx 3$ | 3 |
| 2 | Log Normal | $C_s \approx C_v^2 + 3C_v$ | 0.16913 |
| | | $C_k \approx C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$ | 3.05090 |
| 3 | Gumbel | $C_s \approx 1,139$ | 1.139 |
| | | $C_k \approx 5,4$ | 5.4 |

Karena tiga tipe distribusi di atas tidak memenuhi, perhitungan curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu dilakukan dengan metode Log Pearson tipe III. Dari hasil perhitungan di atas didapat $C_s = -1,167$ dan $C_k = 4,388$.

$$\begin{aligned} \log X_{tr} &= \overline{\log x} + Kt * S_{\log} \\ X_{tr} &= 10^{\log X_{tr}} \end{aligned}$$

Perhitungan curah hujan rencana dengan metode Log Pearson tipe III dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Curah hujan rencana Metode Log Pearson tipe III

| Tr | 1/Tr (%) | Log X | Slog | Cs log | Kt | Log Xtr | Xtr (mm) |
|-----|----------|---------|-------|--------|-------|---------|----------|
| 2 | 50 | 1.93782 | 0.109 | -1.167 | 0.169 | 1.9563 | 90.4237 |
| 5 | 20 | 1.93782 | 0.109 | -1.167 | 0.851 | 2.0307 | 107.3137 |
| 10 | 10 | 1.93782 | 0.109 | -1.167 | 1.121 | 2.0602 | 114.8567 |
| 25 | 4 | 1.93782 | 0.109 | -1.167 | 1.352 | 2.0854 | 121.7209 |
| 50 | 2 | 1.93782 | 0.109 | -1.167 | 1.473 | 2.0986 | 125.4839 |
| 100 | 1 | 1.93782 | 0.109 | -1.167 | 1.565 | 2.1086 | 128.4078 |

Uji Kecocokan (The Goodness of Fit Test)

Tabel 4. Uji Kecocokan Distribusi Data terhadap Distribusi teoritisnya

| m | R (mm) | P(x) = m/(n+1) (%) | Po (x) | P(x) - Po(x) |
|----|--------|--------------------|--------|--------------|
| 1 | 54 | 9.091 | 2.50 | 0.066 |
| 2 | 57.6 | 18.182 | 3.60 | 0.146 |
| 3 | 84.6 | 27.273 | 34.00 | 0.067 |
| 4 | 87 | 36.364 | 42.00 | 0.056 |
| 5 | 90 | 45.455 | 45.00 | 0.005 |
| 6 | 94.8 | 54.545 | 54.00 | 0.005 |
| 7 | 98.2 | 63.636 | 63.00 | 0.006 |
| 8 | 100 | 72.727 | 67.00 | 0.057 |
| 9 | 107 | 81.818 | 81.00 | 0.008 |
| 10 | 116.4 | 90.909 | 90.00 | 0.009 |

Dari tabel di atas diketahui nilai $D_n = 0,146$. Nilai D kritis ditetapkan sebesar 0,37 berdasarkan jumlah data yang ada sebanyak 10 tahun dan derajat kepercayaan 10% atau 0,10.

Karena nilai $D_n < D_{kritis}$ terpenuhi ($0,146 < 0,37$) maka tipe distribusi Log Pearson III merupakan tipe distribusi yang cocok dengan data pengamatan dan dapat digunakan untuk menganalisis debit banjir.

Debit Banjir Maksimum Sungai Molompar

Debit banjir lapangan dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} Q_L &= V \cdot A \\ Q_L &= K_s \cdot R^{2/3} \cdot s^{1/2} \cdot A \end{aligned}$$

dengan :

- Q_L : Debit banjir lapangan ($m^3/detik$)
- V : Kecepatan aliran ($m/detik$)
- A : Luas penampang sungai (m^2)
- K_s : Koefisien kekasaran Stickler
- R : jari-jari hidrolis (m)
- s : kemiringan sungai rata-rata

Dari data yang diperoleh melalui wawancara terhadap penduduk setempat diketahui bahwa pada saat banjir tinggi muka air di Sta 800,95 pada bagian hilir Sungai Molompar adalah + 3,6 m. Besar debit banjir lapangan dihitung sebagai berikut :

Data yang diketahui:

- $K_s = 45$
- $A = 61,221 m^2$
- $P = 25,983 m$
- $s = 0,04354$
- $s^{1/2} = 0,06599$

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} = \frac{61,221}{25,983} = 2,356 \\ R^{2/3} &= 2,356^{2/3} = 1,771 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Q &= K_s \cdot R^{2/3} \cdot s^{1/2} \cdot A \\ &= 45 * 1,771 * 0,06599 * 61,221 \\ &= 321,892 m^3/detik \end{aligned}$$

Distribusi Hujan Jam-jaman

Dalam menganalisis data distribusi hujan jam-jaman ini perhitungannya menggunakan *Alternating Block Method* (ABM). Diketahui curah hujan maksimum tahun 2007 sebesar 107 mm. Dengan durasi hujan selama 8 jam dibuat hitungan *hyetograph* dengan metode ABM sebagai berikut :

Tabel 5. Perhitungan hyetograph dengan metode ABM

| t (jam) | I (mm/jam) | I.t (mm) | ΔR (mm) | R (%) | hyetograph (%) | hyetograph (mm) |
|---------|------------|----------|---------|----------|----------------|-----------------|
| 1 | 37.0948 | 37.0948 | 37.0948 | 50.0000 | 6.1287 | 6.5578 |
| 2 | 23.3683 | 46.7366 | 9.6417 | 12.9961 | 9.1164 | 9.7546 |
| 3 | 17.8333 | 53.5000 | 6.7634 | 9.1164 | 50.0000 | 53.5000 |
| 4 | 14.7211 | 58.8844 | 5.3844 | 7.2576 | 12.9961 | 13.9058 |
| 5 | 12.6863 | 63.4313 | 4.5469 | 6.1287 | 7.2576 | 7.7656 |
| 6 | 11.2343 | 67.4058 | 3.9745 | 5.3572 | 5.3572 | 5.7322 |
| 7 | 10.1371 | 70.9599 | 3.5541 | 4.7905 | 4.7905 | 5.1259 |
| 8 | 9.2737 | 74.1897 | 3.2298 | 4.3534 | 4.3534 | 4.6582 |
| Jumlah | | | 74.1897 | 100.0000 | 100.0000 | 107.0000 |

Hujan Efektif

. Hujan efektif diperoleh dengan cara mengurangi hujan jam-jaman dengan indeks infiltrasi yang dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$Re = R - \Phi.$$

$$\begin{aligned} \Phi &= 10,4903 - 3,859 \cdot 10^{-6} \cdot A^2 + 1,6985 \cdot 10^{-13} \left(\frac{A}{SN}\right)^4 \\ &= 10,4903 - 3,859 \cdot 10^{-6} \cdot 161,516^2 + 1,6985 \cdot 10^{-13} \left(\frac{161,516}{0,502}\right)^4 \\ &= 10,391 \text{ mm/jam} \end{aligned}$$

Perhitungan hujan efektif selanjutnya dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 6. Hujan efektif

| t (jam) | R (mm) | Φ (mm/jam) | Re (mm) |
|------------|-----------|---------------|------------|
| 1 | 6.5578 | 10.39145 | -3.8337 |
| 2 | 9.7546 | 10.39145 | -0.6369 |
| 3 | 53.5000 | 10.39145 | 43.1086 |
| 4 | 13.9058 | 10.39145 | 3.5143 |
| 5 | 7.7656 | 10.39145 | -2.6258 |
| 6 | 5.7322 | 10.39145 | -4.6592 |
| 7 | 5.1259 | 10.39145 | -5.2656 |
| 8 | 4.6582 | 10.39145 | -5.7333 |

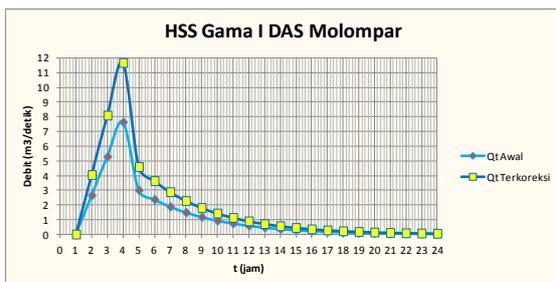
HSS Gama I

• Parameter DAS

- a. Faktor Sumber (SF) = 0,544
- b. Frekuensi Sumber (SN) = 0,502
- c. Faktor Lebar (WF) = 2,261
- d. Luas DAS sebelah hulu (RUA) = 0,642
- e. Faktor Simetri (SIM) = 1,452
- f. Jumlah Pertemuan Sungai (JN) = 130
- g. Kerapatan Jaringan Kuras (D) = 1,753

• Variabel pokok dalam HSS Gama I

- a. Waktu Naik (TR) = 2,8845 jam
- b. Debit Puncak (QP) = 7,63068 m³/detik
- c. Waktu Dasar (TB) = 23,0642 jam
- d. Koefisien Tampungan (K) = 4,2866 jam
- e. Indeks Infiltrasi (Φ) = 10,391 mm/jam
- f. Aliran Dasar (QB) = 21,363 m³/detik
- g. Hidrograf Debit (Qt) = 7,63068 * 2,71830^{t/4,2866}



Gambar 1. HSS Gama I DAS Molompar

HSS Snyder

• Variabel pokok dalam HSS Snyder

- h = 1,00 mm
- tr = 4 jam
- C_t = 0,82
- C_p = 0,94

• Waktu dari titik berat hujan ke debit puncak (tp) = 4,09 jam

- Lamanya hujan efektif (tr') = 0,74 jam
- Waktu capai puncak (Tp) = 6,09 jam
- Debit puncak hidrograf satuan (qp) = 51,96 m³/detik/km²
- Debit Puncak (Qp) = 8,39 m³/detik
- Grafik hubungan antara Q dan t berdasarkan persamaan Alexseyev:

$$Y = 10^{-a \left[\frac{(1-x)^2}{x} \right]}$$

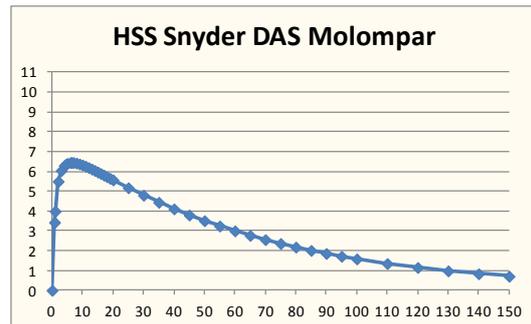
$$\lambda = 0,0003163$$

$$a = 0,05$$

$$Y = 10^{-0,05 \left[\frac{(1-x)^2}{x} \right]}$$

$$t = (x) (Tp); X = \frac{t}{t_p} = \frac{t}{6,09}$$

$$Q = (y) (Qp) = y \cdot 8,39$$



Gambar 2. HSS Snyder DAS Molompar

HSS Nakayasu

$$T_g = 0,4 + 0,058L = 2,02 \text{ jam}$$

$$T_r = 0,75 \cdot t_g = 1,51 \text{ jam}$$

$$T_p = T_g + 0,8 T_r = 3,229 \text{ jam}$$

$$\alpha = 2$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot t_g = 4,04 \text{ jam}$$

$$Q_p = \frac{A \times R_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} = 8,96 \text{ m}^3/\text{detik}$$

• Menentukan keadaan Kurva

a. Keadaan kurva naik Qa (0 < t < Tp)

$$Q = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4}$$

$$Q = 8,96 \times \left(\frac{t}{3,2} \right)^{2,4}$$

Interval waktunya T_p = 3,2 jam

b. Keadaan kurva turun Qd1 (Tp < t < T_{0,3})

$$Q = 0,3 \left(\frac{t - t_p}{T_{0,3}} \right) Q_p$$

$$Q = 0,3 \left(\frac{t-3,2}{4,04} \right) 8,96$$

Interval waktunya $T_p + T_{0,3} = 7,266$ jam

c. Keadaan kurva turun Qd2

$$(T_{0,3} < t < T_{0,3}^2)$$

$$Q = Q_p \times 0,3 \frac{[(t-T_p)+(0,5T_{0,3})]/(1,5T_{0,3})}{(t-T_p)+(0,5T_{0,3})}$$

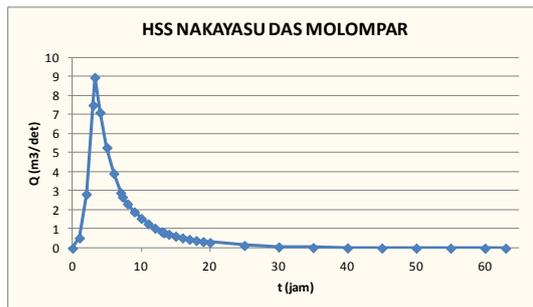
$$Q = 8,96 \times 0,3 \frac{[(t-3,2)+(0,5 \times 4,036)]/(1,5 \times 4,036)}{[(t-3,2)+(0,5 \times 4,036)]/(1,5 \times 4,036)}$$

Interval waktunya $T_p + T_{0,3} + (1,5T_{0,3}) = 13,32$ jam

d. Keadaan kurva turun Qd3 ($t > T_{0,3}^2$)

$$Q = Q_p \times 0,3 \frac{[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})]/(2T_{0,3}^2)}{[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})]/(2T_{0,3}^2)}$$

$$Q = 8,96 \times 0,3 \frac{[(t-3,229)+(1,5 \times 4,036)]/(2 \times 4,036)}{[(t-3,229)+(1,5 \times 4,036)]/(2 \times 4,036)}$$



Gambar 3. HSS Nakayasu DAS Molompar

Metode Rasional

- Waktu konsentrasi (t_c)
 $V = 72 \left(\frac{H}{L} \right)^{0,6} = 12,104$ km/jam
 $t_c = \frac{L}{V} = 2,305$ jam
- Intensitas hujan (I)
 Curah hujan max tahun 2007 = 107 mm
 $I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t_c} \right)^{2/3} = 21,258$ mm/jam
- Koefisien aliran (α) = 0,40
- Debit Maksimum (Q)
 $Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$
 $Q = 0,278 \times 0,40 \times 21,258 \times 161,516 = 381,501$ m³/detik

Metode Melchior

- Luas elips (F) = 218,973 km²
- Nilai R = 3,984 m³/detik/km²
- Nilai koefisien reduksi (β)
 $F = \frac{1970}{\beta - 0,12} - 3960 + 1720\beta$
 $218,973 = \frac{1970}{\beta - 0,12} - 3960 + 1720\beta$
 $4178,973 - 1720\beta = \frac{1970}{\beta - 0,12}$
 $4178,973\beta - 501,47676 - 1720\beta^2 + 206,4\beta = 1970$
 $-1720\beta^2 + 4385,373\beta - 2471,47676 = 0$
 $\beta = 1,7087$
- Debit perkiraan (q) = 1099,543 m³/detik

- Kecepatan aliran rata-rata (v) = 1,61896 m/detik
- Waktu konsentrasi (t_c) = 4,787 jam (287,2211 menit)
- Harga taksiran curah hujan (R2)
 Untuk mendapatkan P_v , nilai t_c sebesar 287,2211 menit diplot ke tabel penambahan persentase curah hujan maksimum sehingga diperoleh nilai P_v sebesar 6%.
 $R_2 = R + (P_v \times R) = 4,22315$ m³/detik/km²
- Debit puncak banjir
 $Q = C \times R_2 \times A = 354,6955$ m³/detik
 Maka, untuk Q dengan curah hujan max tahun 2007 sebesar 107 mm,
 $Q = 354,6955 \times \left(\frac{107}{200} \right) = 189,762$ m³/detik.

Metode Haspers

- Koefisien Pengaliran (α)
 $\alpha = \frac{1+0,012 \cdot A^{0,7}}{1+0,075 \cdot A^{0,7}} = \frac{1+0,012 \cdot 161,516^{0,7}}{1+0,075 \cdot 161,516^{0,7}} = 0,39$
- Waktu Konsentrasi (t)
 $t = 0,1 \times L^{0,8} \times s^{-0,3} = 3,497$ jam
- Koefisien Reduksi (β)
 $\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,70 \cdot 10^{-0,4t}}{t^2 + 15} \times \frac{A^{0,75}}{12}$
 $\frac{1}{\beta} = 1,505373$
 $\beta = 0,66$
- Besarnya curah hujan (r) untuk lama hujan tertentu (t) karena nilai t = 3,497 jam dan diketahui R = 107 mm maka :
 $r = \frac{t \cdot R_n}{t+1} = \frac{3,497 \cdot 107}{3,497+1} = 83,2062$ mm
- Intensitas hujan (q)
 $q = \frac{r}{3,6xt} = \frac{83,2062}{3,6 \cdot 3,497} = 6,609$ m³/detik/km²
- Debit Maksimum (Q)
 $Q = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot A = 0,39 \cdot 0,664 \cdot 6,609 \cdot 161,516 = 277,328$ m³/detik

Metode weduwen

- t_c perkiraan = 3,046 jam
- Koefisien Reduksi (β)
 $\beta = \frac{120 + \frac{t_c+1}{t_c+9} A}{120+A} = \frac{120 + \frac{3,046+1}{3,046+9} 161,516}{120+161,516} = 0,6190$
- Hujan Maksimum (q)
 $q = \frac{67,65}{t+1,45} = \frac{67,65}{3,046+1,45} = 15,0467$ m³/detik/km²
- Koefisien Aliran
 $\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta \cdot q + 7} = 1 - \frac{4,1}{0,6190 \cdot 15,0467 + 7} = 0,7487$
- Debit Perkiraan
 $Q = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot A = 1126,2102$ m³/detik

- Waktu Konsentrasi (tc)
 $tc = 0,125L.Q^{-0,125}.s^{-0,25} = 3,046 \text{ jam}$

Setelah dilakukan perhitungan ulang diperoleh nilai tc = 3,046 jam yang sesuai dengan nilai tc perkiraan.

- Debit Maksimum (Qt)
 $Qt = \frac{R}{240} \times Q$
 $Q2 = \frac{107}{240} \times 1126,2102 = 502,098 \text{ m}^3/\text{detik}$

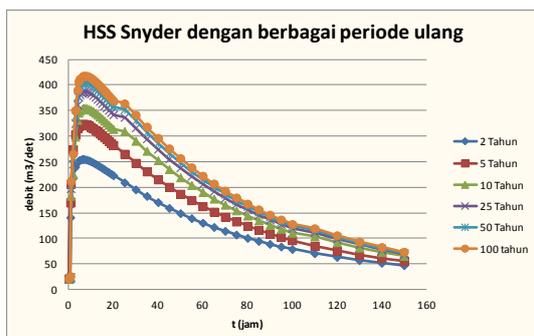
Tabel 7. Rekapitulasi Debit Banjir Hasil Kalibrasi Curah hujan tahun 2007 dengan durasi hujan jam-jaman selama 8 jam

| Metode | Debit Banjir (m3/det) |
|--------------|-----------------------|
| HSS Gama I | 552.648 |
| HSS Snyder | 322.326 |
| HSS Nakayasu | 434.186 |
| Rasional | 381.501 |
| Melchior | 189.762 |
| Weduwen | 502.098 |
| Haspers | 277.328 |

Dari hasil kalibrasi curah hujan maksimum tahun 2007 terhadap debit banjir lapangan disimpulkan metode yang mendekati/sesuai dengan kondisi DAS Molompar adalah HSS Snyder dengan debit sebesar 322,326 m³/detik. Selanjutnya dihitung debit banjir rencana Sungai Molompar dengan berbagai periode ulang menggunakan Metode HSS Snyder.

Tabel 8. Debit Banjir Rencana HSS Snyder untuk berbagai periode ulang

| Periode Ulang | Debit Banjir Rencana (m3/det) |
|---------------|-------------------------------|
| 2 | 254.9223 |
| 5 | 323.6011 |
| 10 | 354.7849 |
| 25 | 386.7334 |
| 50 | 404.2479 |
| 100 | 417.8568 |



Gambar 4. Hidrograf debit banjir rencana Snyder DAS Molompar untuk berbagai periode ulang

PEMBAHASAN

Analisis debit banjir Sungai Molompar dilakukan menggunakan tujuh metode yaitu HSS gama I, HSS Snyder, HSS Nakayasu, Metode Rasional, Melchior, Weduwen, dan Haspers. Data curah hujan harian maksimum diuji outlier terlebih dahulu sebelum dilakukan analisis distribusi curah hujan. Selanjutnya analisis distribusi curah hujan dilakukan berdasarkan parameter statistik dan diperoleh tipe distribusi log pearson III. Kemudian dilakukan penggambaran tipe distribusi pada kertas probabilitas Log Pearson III dan diuji kecocokannya dengan metode Smirnov Kolmogorov. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tipe distribusi Log pearson III memenuhi syarat untuk uji kecocokan metode Smirnov Kolmogorov karena nilai Dn lebih kecil dari nilai D kritis (0,146 < 0,37). Dengan demikian, curah hujan rencana dengan berbagai periode ulang digunakan dari hasil analisis tipe distribusi Log Pearson III.

Sebelum melanjutkan analisis debit banjir Sungai Molompar terlebih dahulu dilakukan pengukuran parameter-parameter DAS yang akan digunakan dalam analisis seperti Luas DAS, Panjang sungai utama, dan parameter lainnya. Pengukuran menggunakan peta rupa bumi dengan skala 1:50.000.

Selanjutnya dilakukan perhitungan debit banjir lapangan dengan menggunakan data tinggi muka air banjir pada tahun 2007 dan ukuran penampang sungai. Debit diperoleh dengan mengalikan kecepatan dengan luas penampang sungai. Debit banjir sungai pada tahun 2007 hasil analisis sebesar 321,892 m³/detik.

Kemudian dilakukan kalibrasi debit banjir Sungai Molompar terhadap data curah hujan maksimum tahun 2007 dengan mendistribusikan curah hujan maksimum menjadi hujan jam-jaman dengan durasi hujan selama 8 jam. Kemudian hujan jam-jaman tersebut dikurangi dengan indeks infiltrasi sehingga diperoleh hujan efektif.

Hujan efektif dianalisis dengan tujuh metode yang disebutkan sebelumnya dan dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa HSS Snyder merupakan metode yang mendekati/sesuai dengan kondisi DAS Molompar dengan debit sebesar 322,326 m³/detik. Selanjutnya debit banjir rencana

dengan berbagai periode ulang dianalisis menggunakan HSS Snyder dan diperoleh debit banjir untuk periode ulang 100 tahun sebesar 417,8568 m³/detik.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis di lapangan yang didasarkan pada data tinggi muka air banjir maksimum yang pernah terjadi di Sungai Molompar pada Tahun 2007 setinggi 3,6 m,

didapat banjir maksimum sebesar 321,892 m³/detik. Kemudian dari tujuh macam metode yang digunakan untuk analisis debit banjir Sungai Molompar, diperoleh debit banjir maksimum HSS Snyder sebesar 322,326 m³/detik yang mendekati besaran debit banjir tahun 2007. Dengan demikian, untuk perhitungan debit banjir DAS Molompar dapat digunakan Metode HSS Snyder apabila merujuk pada data curah hujan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Triatmodjo, 2008, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset UGM Yogyakarta.
- Chow, Ven T., Maidment, David R., Mays, Larry W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Singapore.
- Direktorat Jenderal Pengairan Direktorat Sungai Departemen Pekerjaan Umum, 1992, *Cara Menghitung Design Flood*, Chandy Buana Kharisma
- Kamiana, I Made, 2011, *Teknik Perhitungan Debit Banjir Rencana Bangunan Air*, Graha Ilmu Yogyakarta.
- Pasuan Refly Ir, Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, 2015, *Data Curah Hujan Unit Hidrologi Manado*.
- Rancangan Standar Nasional Indonesia 3, 2015, *Tata cara perhitungan debit banjir rencana*, Badan Standardisasi Nasional
- Soewarno, 1995, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*, Penerbit NOVA Bandung.
- Sri Harto, Br., 1993, *Analisis Hidrologi*, Gramedia Pustaka Utama Jakarta.
- Seyhan E., 1990, *Dasar-dasar Hidrologi*, Gajah Mada University Press Yogyakarta.