

# ANALISA *RUNOFF* PADA SUB DAS LEMATANG HULU

Gina Putri Verrina<sup>1\*</sup>, Dinar Dwi Anugrah<sup>2</sup>, Sarino<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

\*Korespondensi Penulis: uzumaki\_9315\_gina@yahoo.co.id

## Abstract

*Runoff is one of the factors that can cause landslides. This phenomenon occurs in Lematang watershed especially in upstream region. The purpose of this research is to determine runoff that occur in LematangHulu sub-watershed. In the analysis of runoff, LematangHulu watershed was divided into 5 sub-watershed, namely Sub DAS L Hulu 1 – Sub DAS L Hulu 5.*

*The method used in analyzing this runoff is Rational one. It considers runoff coefficient, the intensity of rainfall and catchment area. All parameters runoff's calculation obtained by using spatial interpretation of satellite images for land use (C), boundary / area in the drainage (A) from analysis of DEM ( Digital Elevation Model ), and the distribution of rainfall intensity (I) using Algebra Average & Mononobe formula.*

*The result show that in Sub DAS L Hulu 3, one of the sub-watershed should receives extra attention because it yields high runoff which is equal to 679,8 m<sup>3</sup>/s. It may cause flood or landslide in the future.*

*Keyword: runoff, watershed, Rational*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) saat ini sangat memprihatinkan dengan semakin tingginya frekuensi banjir, kekeringan, dan tanah longsor. Hal ini terbukti dengan terjadinya peristiwa bencana longsor di daerah Pagar Alam. Salah satu penyebab terjadinya longsor selain karena erosi, juga dapat terjadi karena meningkatnya volume limpasan yang terjadi. Oleh karena itu kita harus memperhatikan faktor-faktor apa saja yang dapat meningkatkan volume limpasan tersebut. Limpasan permukaan merupakan air hujan yang tidak dapat ditahan oleh tanah, vegetasi atau cekungan dan akhirnya mengalir langsung ke sungai atau laut. Karakteristik daerah yang berpengaruh terhadap besarnya limpasan air permukaan antara lain adalah topografi, jenis tanah, dan penggunaan lahan atau penutup lahan.

Peralihan fungsi suatu kawasan yang mampu menyerap air menjadi kawasan yang kedap air akan mengakibatkan ketidakseimbangan hidrologi dan berpengaruh negatif pada kondisi daerah aliran sungai. Perubahan penutup vegetasi pada suatu kawasan akan memberikan pengaruh terhadap waktu serta volume aliran permukaan. Laoh (2002) mengatakan bahwa pada lahan bervegetasi lebat, air hujan yang jatuh akan tertahan pada vegetasi dan meresap ke dalam tanah melalui vegetasi, sehingga limpasan permukaan yang mengalir kecil. Pada lahan terbuka atau tanpa vegetasi, air hujan yang jatuh sebagian besar menjadi limpasan permukaan yang mengalir menuju sungai, sehingga aliran sungai meningkat dengan cepat. Peningkatan volume aliran permukaan akan mengakibatkan masalah banjir di bagian hilir daerah aliran sungai.

Melihat permasalahan tersebut maka diperlukan penelitian akan besarnya limpasan (*runoff*) pada Sub DAS Lematang Hulu.

### 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana menggambarkan besarnya limpasan pada Sub Das Lematang Hulu.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya menghitung besarnya limpasan (*runoff*) pada Sub DAS Lematang Hulu.

### 1.4. Ruang Lingkup Penulisan

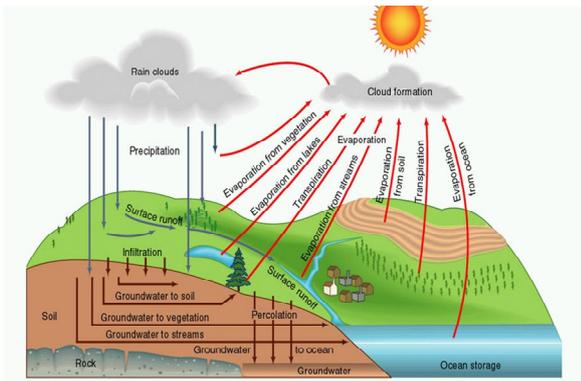
Berdasarkan pada permasalahan dan tujuan di atas, ruang lingkup dalam penelitian ini difokuskan pada penggambaran besarnya limpasan pada sub DAS Lematang hulu.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

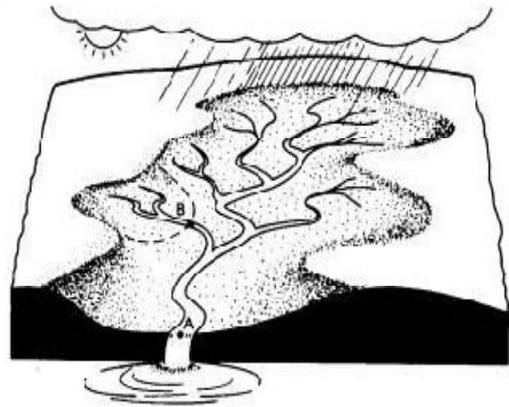
### 2.1. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah perjalanan air dari permukaan laut ke atmosfer kemudian ke permukaan tanah dan kembali lagi ke laut yang tidak pernah berhenti tersebut, air tersebut akan tertahan sementara di sungai, danau/waduk, dan dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup lainnya (Asdak, 2004).

Siklus hidrologi dimulai dengan penguapan air dari laut. Uap yang dihasilkan dibawa oleh udara yang bergerak. Dalam kondisi yang memungkinkan, uap tersebut terkondensasi membentuk awan, pada akhirnya dapat menghasilkan presipitasi. Presipitasi jatuh ke bumi menyebar dengan arah yang berbeda-beda dalam beberapa cara. Sebagian besar dari presipitasi tersebut sementara tertahan pada tanah di dekat tempat ia jatuh, dan akhirnya dikembalikan lagi ke atmosfer oleh penguapan (evaporasi) dan pemeluhan (transpirasi) oleh tanaman (Gambar 1).



Gambar 1. Siklus Hidrologi  
(Sumber: Sandro Wellyanto Lubis 2009)



Gambar 2. Daerah Aliran Sungai  
(Sumber: M. Aras 2011)

Sebagian air mencari jalannya sendiri melalui permukaan dan bagian atas tanah menuju sungai, sementara lainnya menembus masuk lebih jauh ke dalam tanah menjadi bagian dari air tanah (*groundwater*). Di bawah pengaruh gaya gravitasi, baik aliran air permukaan (*surface streamflow*) maupun air dalam tanah bergerak ke tempat yang lebih rendah yang dapat mengalir ke laut. Namun, sejumlah besar air permukaan dan air bawah tanah dikembalikan ke atmosfer oleh penguapan dan pemeluhan (transpirasi) sebelum sampai ke laut (Linsley, dkk, 1989 dalam Febrina, 2008)

Secara gravitasi (alami) air mengalir dari daerah yang tinggi ke daerah yang rendah, dari gunung-gunung, pegunungan ke lembah, lalu ke daerah lebih rendah, sampai ke daerah pantai dan akhirnya akan bermuara ke laut. Aliran air ini disebut aliran permukaan tanah karena bergerak di atas muka tanah. Aliran ini biasanya akan memasuki daerah tangkapan atau daerah aliran menuju ke sistem jaringan sungai, sistem danau ataupun waduk (Kodoatie dan Syarif, 2005 dalam Febrina, 2008).

## 2.2. Daerah Aliran Sungai

Konsep daerah aliran sungai atau yang sering disingkat dengan DAS merupakan dasar dari semua perencanaan hidrologi. Secara umum Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah, yang dibatasi oleh batas alam, seperti punggung bukit-bukit atau gunung, maupun batas buatan seperti jalan atau tanggul, dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberikan kontribusi aliran ke titik pelepasan (*outlet*) (Suripin, 2004).

Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat dipandang sebagai bagian dari permukaan bumi tempat air hujan menjadi aliran permukaan dan mengumpul ke sungai menjadi aliran sungai menuju ke suatu titik di sebelah hilir sebagai titik pengeluaran. Setiap DAS besar yang bermuara ke laut merupakan gabungan dari beberapa DAS sedang sub DAS adalah gabungan dari sub DAS kecil-kecil (Soewarno, 2000 dalam Febrina, 2008).

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (2003) berdasarkan perbedaan debit banjir yang terjadi, bentuk DAS dapat dibedakan menjadi tiga bentuk, yaitu sebagai berikut :

- a. Bulu burung  
Suatu daerah pengaliran yang mempunyai jalur daerah di kiri kanan sungai utama dimana anak-anak sungai mengalir ke sungai utama. Daerah pengaliran demikian mempunyai debit banjir yang kecil, oleh karena waktu tiba banjir dari anak-anak sungai itu berbeda-beda. Sebaliknya banjirnya berlangsung agak lama.
- b. Radial  
Daerah pengaliran yang berbentuk kipas atau lingkaran dan dimana anak-anak sungainya mengkonsentrasi ke suatu titik secara radial. Daerah pengaliran semacam ini mempunyai banjir yang besar di dekat titik pertemuan anak-anak sungai.
- c. Pararel  
Daerah pengaliran seperti ini mempunyai corak dimana dua jalur daerah pengaliran yang bersatu di bagian hilir. Banjir itu terjadi di sebelah hilir titik pertemuan sungai.

## 2.3. Curah Hujan dan Intensitas Hujan

Analisis data hujan dimaksudkan untuk mendapatkan besaran curah hujan dan intensitas hujan.

### 2.3.1. Curah Hujan

Perlunya menghitung curah hujan wilayah adalah untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir (Sosrodarsono & Takeda, 2003). Ada 3 cara dalam menentukan curah hujan rata-rata pada areal tertentu dari data curah hujan di beberapa stasiun pencatat curah hujan, yaitu sebagai berikut:

- a. Metode Rata-Rata Aljabar (Metode *Arithmetic*)  
Metode ini merupakan metode yang paling sederhana, yaitu dengan mengambil nilai rata-rata hitung dari pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan di dalam areal tersebut selama satu periode tertentu. Cara ini akan menghasilkan nilai rata-rata curah hujan yang baik, apabila daerah pengamatannya datar, penempatan alat ukur tersebar merata dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak

menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal.

$$R_r = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (1)$$

b. Metode Poligon Thiessen

Metode ini sering digunakan pada analisis hidrologi karena metode ini lebih baik dan obyektif dibanding dengan metode lainnya. Cara *Polygon Thiessen* ini dipakai apabila daerah pengaruh dan curah hujan rata-rata tiap stasiun berbeda-beda, dipakai stasiun hujan minimum 3 buah dan tersebar tidak merata. Cara ini memperhitungkan luas daerah yang mewakili dari pos-pos hujan yang bersangkutan, untuk digunakan sebagai faktor bobot dalam perhitungan curah hujan rata-rata.

$$R_r = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2)$$

c. Metode Poligon Isohyet

Metode ini merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Pada metode ini, dengan data curah hujan yang ada dibuat garis-garis yang merupakan daerah yang mempunyai curah hujan yang sama (*isohyet*) (Gambar II.6). Kemudian luas bagian di antara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur dan nilai rata-ratanya dihitung sebagai nilai rata-rata timbang dari nilai kontur, kemudian dikalikan dengan masing-masing luasnya. Hasilnya dijumlahkan dan dibagi dengan luas total daerah maka akan didapat curah hujan areal yang dicari.

$$R_r = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n A_i \frac{R_i + R_{i+1}}{2} \quad (3)$$

Berdasarkan ketiga metode tersebut, pemilihan metode yang cocok dipakai pada suatu DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga faktor berikut:

- 1) Jaring-jaring pos penakar hujan dalam DAS
- 2) Luas DAS
- 3) Topografi DAS

2.3.2. Analisa Frekuensi

Analisis frekuensi adalah suatu analisis data hidrologi dengan menggunakan statistika yang bertujuan untuk memprediksi suatu besaran hujan atau debit dengan masa ulang tertentu. Analisis frekuensi data hidrologi juga bertujuan untuk menentukan nilai dari besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi terjadinya melalui penerapan distribusi probabilitas. Analisis frekuensi menggunakan variabel-variabel acak dan distribusi probabilitas yang merupakan bagian dari metode statistik.

Dalam analisis statistik, terdapat parameter-parameter yang dapat membantu dalam menentukan jenis sebaran yang tepat. Parameter-parameter tersebut dibagi dalam 4 bagian besar pengukuran yaitu, pengukuran *central tendency*, pengukuran variabilitas, pengukuran kemencengan (*skewness*), dan pengukuran keruncingan (kurtosis). Berikut ini adalah parameter-parameter yang akan digunakan dalam analisa frekuensi:

- Nilai Rata-Rata

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4)$$

- Deviasi Standar

$$S = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

- Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \quad (6)$$

- Koefisien Skewness

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2) S^3} \quad (7)$$

- Koefisien Kurtosis

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3) S^4} \quad (8)$$

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi dan yang banyak digunakan dalam hidrologi yaitu:

a) Distribusi Normal

Metode distribusi normal merupakan fungsi densitas peluang normal (*PDF=probability density function*) atau dikenal dengan *distribusi Gauss*. Dalam analisis hidrologi distribusi normal banyak digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan dan sebagainya. Rumus umum yang digunakan pada distribusi normal ini adalah sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_{Tr} S \quad (9)$$

b) Distribusi Log-Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah varian *X* menjadi nilai logaritmik varian *X*. Distribusi Log Pearson Tipe III akan menjadi distribusi Log Normal apabila nilai koefisien kemencengan *Cs* = 0,00. Metode distribusi log normal dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut:

$$\text{Log } X_T = \text{log } \bar{X} + K_{Tr} S_{\text{log} X} \quad (10)$$

c) Distribusi Log-Pearson tipe III

Parameter penting dalam Log Pearson Tipe III yaitu nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien kemencengan. Jika koefisien kemencengan sama dengan nol maka distribusi kembali ke distribusi Log Normal. Tidak seperti konsep yang melatar belakangi pemakaian distribusi normal untuk debit puncak, maka probabilitas distribusi Log Pearson III masih tetap dipakai karena fleksibilitasnya (Suripin, 2004). Fungsi kerapatan distribusi Log-Pearson type III mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log } X_T = \text{log } \bar{X} + K_{Tr} S_{\text{log} X} \quad (11)$$

d) Distribusi Gumbel

Metode ini merupakan metode dari nilai-nilai ekstrim (maksimum atau minimum) umumnya digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir. Fungsi metode gumbel merupakan fungsi eksponensial ganda. Menurut Chow (1964) dalam Machairiyah (2007), rumus umum yang digunakan dalam metode Gumbel adalah sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_{Tr} S \quad (12)$$

### 2.3.3. Uji Kecocokan

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian parameter yang sering dipakai adalah *Chi-Square* dan Smirnov Kolmogorov (Suripin, 2004).

#### a. Uji Chi-Square

Pada dasarnya uji ini merupakan pengecekan terhadap penyimpangan rerata data yang dianalisis berdasarkan distribusi terpilih. Penyimpangan tersebut diukur dari perbedaan antara nilai probabilitas setiap varian X menurut hitungan distribusi frekuensi teoritis (diharapkan) dan menurut hitungan dengan pendekatan empiris. Teknik pengujiannya yaitu menguji apakah ada perbedaan yang nyata antara data yang diamati dengan data berdasarkan hipotesis nol ( $H_0$ ).

Menurut Suripin 2004, Uji *Chi-Square* dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Parameter  $X^2$  merupakan variabel acak. Parameter  $X^2$  yang digunakan dapat dihitung dengan rumus:

$$X^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (13)$$

Perhitungan uji *Chi Kuadrat* adalah :

- 1) Pengurutan data pengamatan dari besar ke kecil
- 2) Perhitungan jumlah kelas yang ada ( $K$ ) =  $1 + 3,322 \log n$ .
- 3) Perhitungan nilai  $E_i = (n/K)$
- 4) Perhitungan banyaknya  $O_i$  untuk masing – masing kelas.
- 5) Perhitungan nilai  $X^2$  untuk setiap kelas kemudian hitung nilai total  $X^2$  dari tabel untuk derajat nyata tertentu yang sering diambil sebesar 5% dengan parameter derajat kebebasan.

Rumus derajat kebebasan adalah :

$$DK = K - (R + 1) \quad (14)$$

Cara memberikan interpretasi terhadap *Chi-Square* adalah dengan menentukan df atau db (derajat kebebasan). Uji ini digunakan untuk data yang variabelnya tidak dipengaruhi oleh variabel lain dan diasumsikan bahwa sampel dipilih secara acak (Hartono, 2004 dalam Machairiyah, 2007).

#### b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorof, sering juga disebut uji keselarasan non parametrik (*non parametrik test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Pengujian kecocokan sebaran dengan metode ini dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk tiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat perbedaan ( $\Delta$ ) tertentu. Perbedaan maksimum yang dihitung ( $\Delta_{maks}$ ) dibandingkan dengan perbedaan kritis ( $\Delta_{cr}$ ) untuk suatu derajat nyata dan banyaknya variat tertentu, maka sebaran sesuai jika ( $\Delta_{maks}$ ) < ( $\Delta_{cr}$ ). Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{P_{max}}{P(x)} - \frac{P(x_i)}{\Delta_{Cr}} \quad (15)$$

Prosedur perhitungan uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov ini adalah sebagai berikut:

- a. Urutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya dan tentukan peluangnya dari masing-masing data tersebut
- b. Tentukan nilai variabel reduksi  $\{f(t)\}$

$$f(t) = \frac{(X - \bar{X})}{s} \quad (16)$$

- c. Tentukan peluang teoritis  $\{P'(X_i)\}$  dari nilai  $f(t)$  dengan tabel
- d. Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih antara pengamatan dan peluang teoritis

$$D_{maks} = \text{Maks} \{ P(X_i) - P'(X_i) \} \quad (17)$$

- e. Berdasarkan tabel nilai kritis *Smirnov-Kolmogorof* (lampiran tabel 6) tentukan harga  $D_0$ .

### 2.3.4. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi curah hujan dalam periode tertentu yang dinyatakan dalam satuan mm/jam. Durasi adalah lamanya suatu kejadian hujan. Intensitas hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak sangat luas. Hujan yang meliputi daerah yang luas, jarang sekali dengan intensitas yang tinggi, tetapi dapat berlangsung dengan durasi cukup panjang. Kombinasi dari intensitas hujan yang tinggi dengan durasi yang panjang jarang terjadi, tetapi apabila terjadi berarti sejumlah besar volume air bagaikan ditumpahkan dari langit (Sudjarwadi, 1987 dalam Suroso & Hery, 2006).

Dalam studi ini, rumus empiris untuk menghitung intensitas hujan dalam menentukan debit puncak dengan metode Rasional, digunakan rumus *Mononobe* seperti persamaan 2.25 berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^2 \quad (17)$$

### 2.3.5. Waktu Konsentrasi

Menurut Suripin (2004), 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. Dalam hal ini diasumsikan bahwa jika durasi hujan sama dengan waktu konsentrasi, maka setiap bagian DAS secara serentak telah menyumbangkan aliran terhadap titik kontrol.

Untuk memperkirakan waktu konsentrasi, Kirpich (1940) dalam Suripin (2004) memberikan formula sebagai berikut:

$$T_c = \left( \frac{0,87.L^2}{1000.S} \right)^{0,385} \quad (18)$$

### 2.4. Limpasan (*RunOff*)

Limpasan permukaan merupakan air hujan yang tidak dapat ditahan oleh tanah, vegetasi atau cekungan dan akhirnya mengalir langsung ke sungai atau laut. Besarnya nilai aliran permukaan sangat menentukan besarnya tingkat kerusakan akibat erosi maupun banjir. Besarnya nilai aliran permukaan dipengaruhi oleh curah hujan, vegetasi (penutup lahan), adanya bangunan penyimpan air dan faktor lainnya.

Laoh (2002) mengatakan bahwa pada lahan bervegetasi lebat, air hujan yang jatuh akan tertahan pada vegetasi dan meresap ke dalam tanah melalui vegetasi dan seresah daun di permukaan tanah, sehingga limpasan permukaan yang mengalir kecil. Pada lahan terbuka atau tanpa vegetasi, air hujan yang jatuh sebagian besar menjadi limpasan permukaan yang mengalir menuju sungai, sehingga aliran sungai meningkat dengan cepat.

Hujan merupakan komponen masukan yang paling penting dalam proses hidrologi DAS, karena jumlah hujan dialihragamkan menjadi aliran sungai (*runoff*) melalui limpasan permukaan, aliran bawah tanah, maupun aliran air tanah. Menurut Haan, *et al.* (1982) dalam Setyowati (2010), hujan dan aliran adalah saling berhubungan dalam hal hubungan antara volume hujan dengan volume aliran, distribusi hujan per waktu mempengaruhi hasil aliran, dan frekuensi kejadian hujan mempengaruhi aliran.

#### 2.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Limpasan

Menurut Suripin (2004), faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan dibagi dalam 2 kelompok, yakni faktor meteorology dan karakteristik daerah tangkapan saluran atau daerah aliran sungai (DAS).

##### a) Faktor meteorologi

Faktor-faktor yang termasuk dalam kelompok elemen-elemen meteorologi adalah sebagai berikut:

##### 1) Intensitas curah hujan

Pengaruh intensitas curah hujan pada limpasan permukaan tergantung dari kapasitas infiltrasi. Jika intensitas curah hujan melampaui kapasitas infiltrasi, maka besarnya limpasan akan segera meningkat sesuai dengan peningkatan intensitas curah hujan. Akan tetapi, besarnya peningkatan limpasan itu tidak sebanding dengan peningkatan curah hujan lebih, yang disebabkan oleh efek penggenangan di permukaan tanah. Intensitas hujan berpengaruh pada debit maupun volume limpasan

##### 2) Durasi hujan

Di setiap daerah aliran mempunyai satuan durasi hujan atau lama hujan kritis. Jika lamanya curah hujan itu kurang dari lamanya hujan kritis, maka lamanya limpasan akan sama dan tidak tergantung dari intensitas curah hujan. Jika lamanya curah hujan itu lebih panjang, maka lamanya limpasan permukaan itu juga menjadi lebih panjang.

##### 3) Distribusi curah hujan

Jika kondisi-kondisi seperti topografi, tanah dan lain-lain diseluruh daerah pengaliran itu sama dan umpamanya jumlah curah hujan itu sama, maka curah hujan yang distribusinya merata yang mengakibatkan debit puncak yang minimum. Banjir di daerah pengaliran yang besar kadang-kadang terjadi oleh curah hujan lebat yang distribusinya merata, dan sering kali terjadi oleh curah hujan biasa yang mencakup daerah yang luas meskipun intensitasnya kecil. Sebaliknya, di daerah pengaliran yang kecil, debit puncak

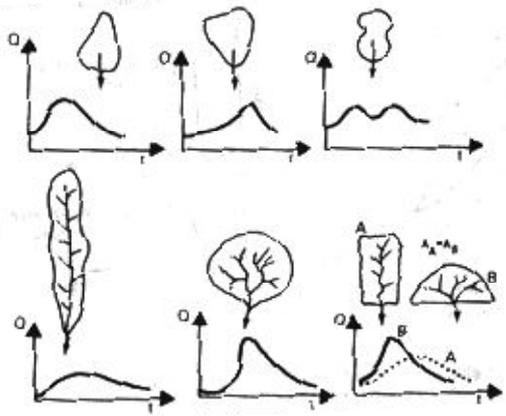
maksimum dapat terjadi oleh curah hujan lebat dengan daerah hujan yang sempit.

##### b) Karakteristik DAS

Karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan meliputi luas dan bentuk DAS, topografi, dan tata guna lahan.

##### 1) Luas dan bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Tetapi, apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luas DAS. Ini berkaitan dengan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga intensitas hujan. Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam sungai. Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan memperhatikan hidograf-hidograf yang terjadi pada dua buah DAS yang bentuknya berbeda namun mempunyai luas yang sama dan menerima hujan dengan intensitas yang sama (Gambar 2.3).



Gambar 3. Bentuk Hidrograf DAS Dan Limpasan  
(Sumber: Sandra Wellyanto Lubis, 2009)

##### 2) Topografi

Tampakan rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan, keadaan dan kerapan parit dan/atau saluran, dan bentuk-bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan-cekungan.

##### 3) Tata guna lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan.

Angka koefisien aliran permukaan ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0 sampai 1. Nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang masih baik, harga C mendekati nol dan semakin rusak suatu DAS maka harga C makin mendekati satu.

## 2.5. Metode Rasional

Metode Rasional banyak digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan deras pada daerah tangkapan (DAS) kecil. Suatu DAS disebut DAS kecil apabila distribusi hujan dapat dianggap seragam dalam suatu ruang dan waktu, dan biasanya durasi hujan melebihi waktu konsentrasi. Metode Rasional dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan, secara praktis berlaku untuk luas DAS kurang dari 300 hektar.

Bentuk umum rumus metode Rasional adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,00278 \cdot C.I.A \quad (19)$$

Beberapa asumsi dasar untuk menggunakan formula Rasional adalah sebagai berikut (Wanielista, 1990 dalam Analisis Curah Hujan Untuk Pendugaan Debit Puncak Dengan Metode Rasional Pada DAS Percut Kabupaten Deli Serdang, Machairiyah, 2007):

- Curah hujan terjadi dengan intensitas yang tetap dalam satu jangka waktu tertentu, setidaknya sama dengan waktu konsentrasi.
- Limpasan langsung mencapai maksimum ketika durasi hujan dengan intensitas yang tetap, sama dengan waktu konsentrasi.
- Koefisien *run off* dianggap tetap selama durasi hujan.
- Luas DAS tidak berubah selama durasi hujan.

### 2.5.1. Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan adalah persentase jumlah air yang dapat melimpas melalui permukaan tanah dari keseluruhan air hujan yang jatuh pada suatu daerah. Semakin kedap suatu permukaan tanah, maka semakin tinggi nilai koefisien pengalirannya.

Koefisien aliran permukaan (C) merupakan pengaruh tata guna lahan dalam aliran permukaan, yakni bilangan yang menampilkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Nilai C berkisar antara 0 – 1. Nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang baik harga C mendekati nol dan semakin rusak suatu DAS maka harga C semakin mendekati satu (Kodoatie dan Syarief, 2005 dalam Febrina, 2008).

## III. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Studi Pustaka

Tahap studi pustaka yaitu mengumpulkan dan mempelajari bahan-bahan yang berkaitan dengan masalah-masalah yang akan diteliti. Bahan-bahan tersebut berupa bahan yang didapat dari tulisan ilmiah, diktat-diktat, jurnal-jurnal dan buku maupun internet yang berkaitan dengan masalah yang diteliti. Informasi yang didapat dari studi pustaka dapat digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian ini.

### 3.2. Pengumpulan Data

Tahap ini merupakan tahap pengumpulan data-data yang akan mendukung pelaksanaan penelitian analisa *runoff* pada sub DAS Lematang Hulu. Data-data yang diperlukan meliputi :

- (1) Peta Topografi
- (2) Peta Tanah
- (3) Peta Tata Guna Lahan
- (4) Data curah hujan harian 10 tahunan

### 3.3. Analisa Data

Data-data yang telah diperoleh dari proses pengumpulan data, akan diolah untuk mendapatkan permodelan-permodelan dalam mengidentifikasi *runoff*.

Adapun analisa data yang akan dilakukan meliputi berikut ini:

- (1) Pola kemiringan lereng dan batas DAS melalui pembuatan DEM (*Digital Elevation Models*)
- (2) Perhitungan intensitas curah hujan pada sub DAS Lematang Hulu
- (3) Analisis model klasifikasi penggunaan lahan melalui *Image Classification*
- (4) Analisis perhitungan *runoff* melalui teknik overlay peta tematik

Semua proses analisis tersebut dibantu dengan memanfaatkan teknik GIS menggunakan perangkat lunak ILWIS.

Proses pengolahan perhitungan *runoff* ini akan menggunakan metode Rasional. Dengan analisa intensitas hujan menggunakan persamaan Mononobe dan analisa curah hujan menggunakan metode Rata-Rata Aljabar.

Setelah mendapatkan nilai besaran limpasan, maka kita dapat melakukan tinjauan lapangan terhadap kondisi Sub DAS Lematang Hulu tersebut. Tinjauan ini dilakukan di beberapa kecamatan/desa yang ada pada daerah kabupaten Lahat.

### 3.4. Pembahasan

Membahas hasil yang diperoleh dari tiap proses tahapan analisis data yang antara lain adalah analisis data curah hujan, perhitungan intensitas hujan, dan analisa limpasan (*runoff*) yang telah dimodelkan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografi sebelumnya.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1. Gambaran Wilayah**

Sungai Lematang adalah salah satu sungai terpanjang di propinsi Sumatera Selatan, dengan panjang sungai Lematang adalah 244 km dan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) secara keseluruhan adalah 7.380 km<sup>2</sup>. Sungai Lematang melewati 3 kabupaten di Sumatera Selatan yaitu Kabupaten Lahat, Kabupaten Muara Enim, dan Kabupaten Musi Banyu Asin dan bermuara di sungai Musi. Sungai Lematang dimanfaatkan untuk pengairan irigasi dan air minum, dimana sumber mata air sungai Lematang berasal dari Gunung Dempo Kota Pagar Alam.

**4.2. Kondisi Fisik Kawasan Sub DAS Lematang Hulu**

**4.2.1. Klimatologi**

Secara umum Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Lematang Hulu dan sekitarnya seperti wilayah kabupaten Lahat, kota Pagaralam merupakan daerah beriklim tropis. Pada kondisi normal musim penghujan setiap tahun berkisar antara bulan Oktober sampai dengan bulan Maret, sedangkan musim kemarau berkisar bulan April sampai dengan bulan September. Rata-rata curah hujan berkisar antara 1.462-5.199 mm pertahun dengan kelembaban udara berkisar antara 75%-89%, suhu berkisar antara 22°-30° dan intensitas cahaya matahari antara 6-10 jam perhari serta kecepatan angin rata-rata 4,66 km/jam.

**4.2.2. Topografi Dan Kemiringan Lahan**

Kawasan Sub DAS Lematang Hulu ini mempunyai topografi yang beragam, mulai dari kemiringan 0-15% sampai kemiringan di atas 45%, berupa tebing curam dan perbukitan. Lahat adalah kawasan dengan relief permukaan yang berupa perbukitan, namun masih banyak kawasan yang belum dimanfaatkan sehingga masih dalam wujud hutan alam. Kota Pagaralam merupakan daerah yang berbukit dengan ketinggian 400–3.400 diatas permukaan laut (dpl).

**4.2.3. Jenis Tanah**

Jenis tanah terbentuk karena adanya pengaruh dari beberapa faktor pembentuk tanah, yaitu batuan induk, umur, iklim, vegetasi, serta pengaruh lainnya. Pada daerah Pagaralam, sebagian besar keadaan tanah di sekitar wilayah Sub DAS Lematang Hulu berasal dari jenis Latosol dan Andosol dengan bentuk permukaan bergelombang sampai berbukit. Jika dilihat dari kelasnya, tanah di daerah ini pada umumnya adalah tanah kelas I (satu) yang mengandung kesuburan yang tinggi. Hal ini terbukti dengan Daerah Kota Pagar Alam yang merupakan penghasil sayur-mayur, buah-buahan, dan merupakan salah satu Sub terminal Agribisnis (STA) di Provinsi Sumatera Selatan. Pada daerah Lahat, jenis tanah merupakan faktor penentu bagi pengguna lahan yang tepat bagi wilayah tersebut. Jenis tanah yang ada di wilayah Lahat ini dapat berupa tanah Aluvial, Regosol, Podsolik, Andosol, dan Latosol.

**4.2.4. Penggunaan Lahan**

Tata guna lahan di wilayah Sub DAS Lematang Hulu sangat beragam dapat dibedakan menjadi beberapa penggunaan lahan yaitu berupa kawasan hutan lahan kering, sawah, permukiman, semak dan lain-lain.

**4.3. Batas Sub Daerah Aliran Sungai**

Pada daerah penelitian ini yaitu di daerah Sub DAS Lematang Hulu terdapat 2 daerah stasiun pengamat hujan yaitu Stasiun Pagaralam utara, dan Stasiun Pandan Enim. Untuk mempermudah dalam perhitungan, daerah penelitian dibagi menjadi lima sub DAS.

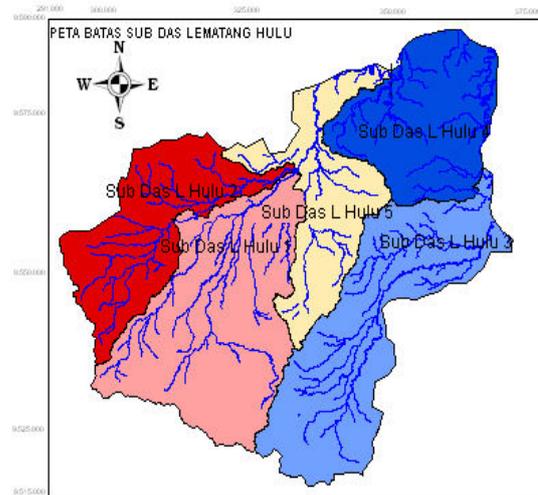
Kelima sub DAS yang sudah dibagi tersebut dapat dilihat Tabel 1 berikut ini. Selanjutnya pada masing-masing sub DAS (Daerah Aliran Sungai) dihitung luas areanya dalam satuan hektar, seperti tampak pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Nama Sub DAS beserta luas area

No.	Nama Sub DAS	Luas Area ( Hektar )
1.	Sub Das L Hulu 1	88.420,50
2.	Sub Das L Hulu 2	52.214,51
3.	Sub Das L Hulu 3	79.865,58
4.	Sub Das L Hulu 4	54.325,88
5.	Sub Das L Hulu 5	45.397,04

(Sumber: Perhitungan dengan Map Info)

Berikut ini adalah gambar peta Sub DAS Lematang Hulu yang sudah dibagi menjadi 5 Sub DAS:



Gambar 4. Sub DAS Lematang Hulu (Sumber: Pembagian Sub DAS, Map Info)

**4.4. Analisis Data**

Setelah semua data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini didapat, kemudian dilakukanlah analisis dari data-data tersebut seperti analisis data curah hujan, intensitas hujan, analisis tata guna lahan, jenis tanah, dan kelerengan, dan analisis runoff.

**4.4.1. Pengolahan Data Curah Hujan**

Pengolahan data ini meliputi pengolahan data curah hujan, dan perhitungan intensitas curah hujan. Data curah hujan tersebut didapat dari stasiun-stasiun penakar hujan maupun stasiun-stasiun pos hujan yang terdapat di sekitar daerah aliran, yang dapat mewakili frekuensi curah hujan yang jatuh dalam daerah tangkapan hujan (*catchment area*).

Perhitungan data hujan harian maksimum rata-rata Daerah Aliran Sungai (DAS) harus dilakukan secara benar untuk digunakan nantinya pada analisis frekuensi curah hujan.

Cara-cara yang dilakukan untuk mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata DAS adalah sebagai berikut:

- Tentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu di salah satu pos penakar hujan
- Cari besarnya curah hujan pada tanggal-bulan-tahun yang sama untuk pos hujan yang lain
- Hitung hujan DAS dengan salah satu cara/metode yang telah dipilih
- Tentukan hujan maksimum harian (seperti langkah 1) pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain
- Ulangi langkah 2 dan 3 untuk perhitungan setiap tahun

Dari hasil rata-rata yang diperoleh (sesuai jumlah pos penakar hujan) dipilih yang tertinggi setiap tahun. Data hujan yang terpilih setiap tahun merupakan hujan harian maksimum DAS untuk tahun yang bersangkutan.

Dalam perhitungan curah hujan, metode yang digunakan adalah metode rata-rata aljabar dikarenakan jumlah stasiun hujan yang sedikit yaitu hanya 2 stasiun penakar hujan.

Berikut ini adalah hasil perhitungan hujan rencana dengan distribusi Gumbel.

Tabel 2. Hujan Rencana

Periode Ulang (Tahun)	Hujan Rancangan (mm)
2	87,607
5	131,806
10	161,070
25	198,045
50	225,476
100	252,703
200	279,832

(Sumber: Perhitungan)

**4.4.2. Perhitungan Intensitas Hujan**

Untuk mendapatkan intensitas hujan rencana pada berbagai periode ulang, dapat dihitung dengan rumus Mononobe, sesuai dengan pernyataan Loebis (1992) bahwa intensitas hujan (mm/jam) dapat diturunkan dari data curah hujan harian empiris menggunakan metode Mononobe.

Hasil analisis intensitas hujan rencana jam-jaman pada berbagai periode ulang dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

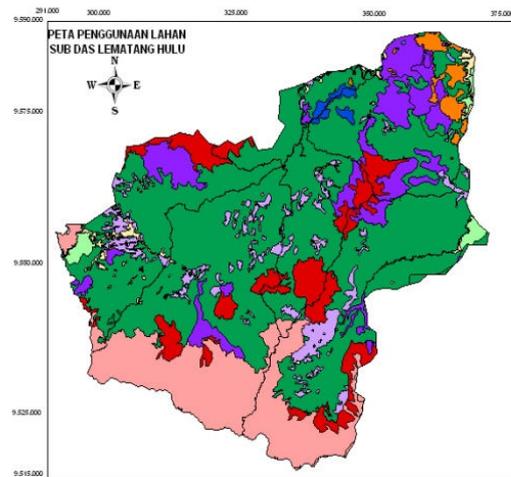
Tabel 3. Intensitas hujan jam-jaman

T ( waktu ) (Menit)	Periode Ulang						
	2	5	10	25	50	100	200
5	159,192	239,508	292,684	359,872	409,716	459,192	508,488
10	100,285	150,881	184,379	226,705	258,105	289,273	320,327
15	76,531	115,143	140,708	173,009	196,971	220,757	244,456
30	48,212	72,536	88,640	108,989	124,084	139,068	153,997
45	36,792	55,355	67,645	83,174	94,694	106,129	117,522
60	30,372	45,695	55,840	68,658	78,168	87,607	97,012
120	19,133	28,786	35,177	43,252	49,243	55,189	61,114
180	14,601	21,968	26,845	33,008	37,579	42,117	46,639
360	9,198	13,839	16,911	20,793	23,673	26,532	29,380
720	5,794	8,718	10,653	13,099	14,913	16,714	18,509

(Sumber: Perhitungan)

**4.4.3. Tata Guna Lahan**

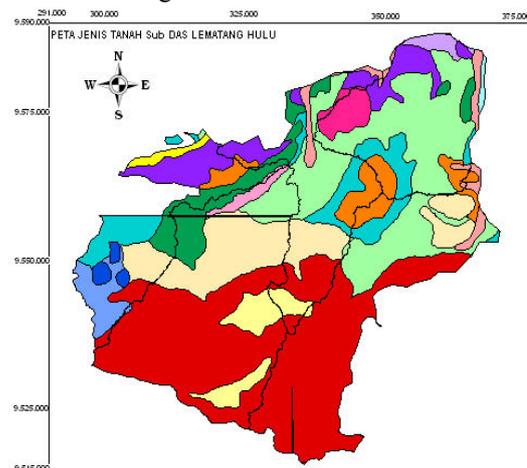
Berikut adalah gambar peta tata guna lahan pada Sub Das Lematang Hulu:



Gambar 5. Peta Tata Guna Lahan

**4.4.4. Jenis Tanah**

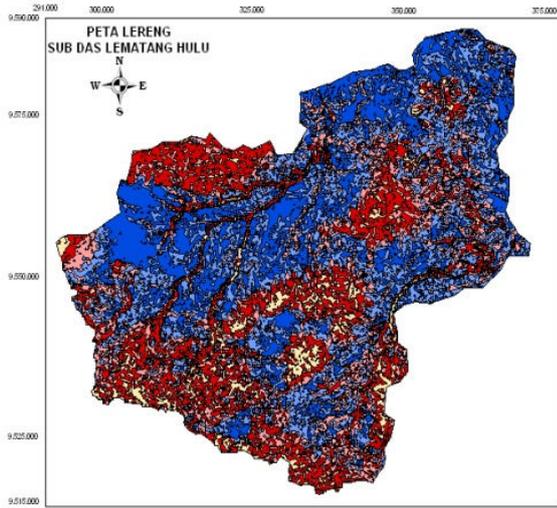
Berikut adalah gambar peta tata jenis tanah pada Sub Das Lematang Hulu:



Gambar 6. Peta Jenis Tanah

**4.4.5. Kemiringan Lereng**

Berikut adalah gambar peta kemiringan lereng pada Sub Das Lematang Hulu:



Gambar 7. Peta Kemiringan Lereng

#### 4.5. Analisa Runoff

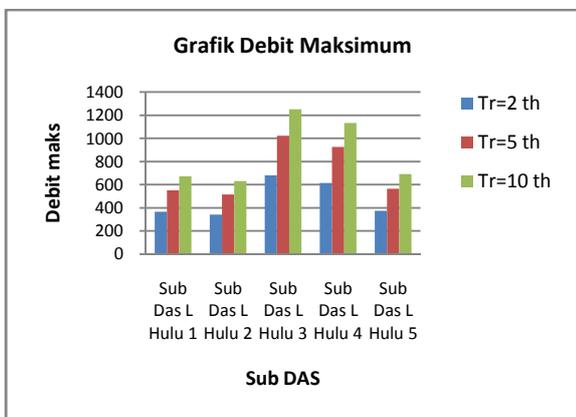
Setelah semua data-data yang dibutuhkan terlengkapi, seperti data curah hujan, data penggunaan lahan, dan lain-lain, maka tahap yang akan dilakukan selanjutnya adalah mengoverlay data peta tersebut melalui ILWIS. *Overlay* (tumpang susun) ini dilakukan dengan menggabungkan *file-file* data yang tersedia menggunakan rumus yang akan dipakai. Untuk menghitung limpasan rumus yang digunakan adalah metode Rasional. Dari hasil *overlay* tersebut akan menghasilkan peta debit limpasan Sub DAS Lematang Hulu.

Berikut ini adalah hasil perhitungan debit limpasan maksimum pada Sub DAS Lematang Hulu:

Tabel 4. Debit limpasan maksimum pada Sub DAS Lematang Hulu

Nama Sub DAS	Luas Area ( Hektar )	Q maks (m <sup>3</sup> /s)		
		Tr=2	Tr=5	Tr=10
Sub Das L Hulu 1	88.420,50	365,9	550,5	672,83
Sub Das L Hulu 2	52.214,51	342,95	515,97	630,62
Sub Das L Hulu 3	79.865,58	679,8	1022,76	1250,03
Sub Das L Hulu 4	54.325,88	615,59	926,16	1131,96
Sub Das L Hulu 5	45.397,04	375,65	565,16	690,75

Hasil perhitungan dari debit limpasan dari tabel di atas, digambarkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 8. Grafik Debit Maksimum

#### 4.6. Pembahasan

Penelitian ini pada dasarnya bertujuan untuk mengetahui besarnya limpasan (*runoff*) pada daerah Sub DAS Lematang Hulu. Kondisi topografi, penggunaan lahan, dan jenis tanah ini akan mempengaruhi besarnya limpasan yang terjadi pada daerah tersebut. Debit limpasan dihitung dengan menggunakan metode Rasional seperti yang telah dijelaskan di atas. Hasil perhitungan debit limpasan sangat dipengaruhi oleh kawasan kedap air dan intensitas hujan.

Besar intensitas hujan tidak sama di segala tempat, hal ini dipengaruhi oleh durasi dan frekuensi di tempat atau lokasi yang bersangkutan. Perhitungan intensitas hujan jam-jaman dilakukan dengan menggunakan rumus mononobe. Pada Tabel 3 tersebut terlihat bahwa nilai intensitas hujan pada periode ulang 2 tahun, untuk durasi 5 menit sebesar 159,192 mm, dan pada durasi 1 jam sebesar 30,372 mm. Hal ini dikarenakan intensitas hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dalam waktu singkat, sedangkan intensitas hujan rendah berlangsung dalam waktu yang lama.

Dari data hasil perhitungan debit limpasan pada Tabel 4 tersebut didapat debit limpasan pada periode ulang 2, 5, dan 10 tahun. Debit limpasan terbesar terjadi di Sub Das L Hulu 3 yaitu sebesar 679,8 m<sup>3</sup>/s, 1022,76 m<sup>3</sup>/s, 1250,03 m<sup>3</sup>/s dan debit limpasan terkecil terjadi pada Sub Das L Hulu 2 yaitu sebesar 342,95 m<sup>3</sup>/s, 515,97 m<sup>3</sup>/s, 630,62 m<sup>3</sup>/s. Hal ini dikarenakan, nilai dari debit limpasan tersebut sebanding dengan luas area, semakin besar luas area, maka semakin besar pula debit limpasan yang terjadi. Namun tidak hanya itu saja yang bisa mempengaruhi limpasan, intensitas hujan dan koefisien limpasan juga bisa mempengaruhi limpasan, sehingga walaupun luas areanya besar namun, kalau intensitas dan koefisiennya kecil maka limpasannya juga akan kecil seperti pada Sub Das Hulu 1.

#### V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan besarnya limpasan pada Sub DAS Lematang Hulu dapat ditarik kesimpulan :

1. Kondisi fisik daerah Sub DAS Lematang Hulu ini berupa perbukitan, dan tebing curam. Penggunaan lahan pada kawasan ini masih banyak diisi oleh semak, yang kemudian diikuti oleh hutan, dan sawah. Daerah ini juga memiliki jenis tanah yang beragam seperti Latosol dan Andosol. Kondisi topografi, penggunaan lahan, dan jenis tanah ini akan mempengaruhi besarnya limpasan yang terjadi pada daerah tersebut.
2. Berdasarkan data hujan harian 10 tahunan yang ada, menghasilkan curah hujan rancangan untuk periode 2, 5, dan 10 tahun sebesar 83,607mm, 131,806mm, dan 161,07mm. Intensitas hujan jam-jaman yang dihitung dengan rumus Mononobe menghasilkan nilai intensitas hujan yang semakin mengecil di setiap durasi hujan yang semakin

lama. Nilai intensitas hujan pada periode ulang 2 tahun, untuk durasi 5 menit sebesar 159,192 mm/jam, dan pada durasi 1 jam sebesar 30,372 mm/jam.

3. Dari hasil perhitungan debit limpasan, limpasan terbesar terjadi pada Sub Das L Hulu 3 dan debit limpasan terkecil pada Sub Das L Hulu 2. Pada Sub Das L Hulu 3 menghasilkan debit limpasan sebesar 679,8 m<sup>3</sup>/s untuk periode ulang 2 tahun. Pada Sub Das L Hulu 2 menghasilkan debit limpasan sebesar 342,95 m<sup>3</sup>/s pada periode ulang 2 tahun. Oleh karena itu pada Sub Das L Hulu 3 harus mendapat perhatian ekstra karena memiliki debit limpasan terbesar dari seluruh Das. Dikhawatirkan, hal ini dapat menyebabkan banjir atau erosi di waktu kedepannya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 1) Aras, M, 2011, *Pendugaan Debit Air Sub DAS Bantimurung Dengan Menggunakan Model AWBM*.
- 2) Asdak, Chay, 2001, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Universitas Gajah Mada.
- 3) Febrina, 2008, *Analisis Curah Hujan Untuk Pendugaan Debit Puncak Dengan Metode Rasional Pada Das Belawan Kabupaten Deli Serdang*.
- 4) Laoh, O.E.H, 2002, *Keterkaitan Faktor Fisik, Faktor Sosial, Ekonomi, dan Tata Guna Lahan di Daerah Tangkapan Air dengan Erosi dan Sedimentasi (Studi Kasus Tondano, Sulawesi Utara)*, IPB, Bogor.
- 5) Lubis, Sandro W, 2009, *Analisis Data Debit Dan Penentuan Koefisien Limpasan*.
- 6) Setyowati, Dewi L, 2010, *Hubungan Hujan Dan Limpasan Pada Sub Das Kecil Penggunaan Lahan Hutan, Sawah, Kebun Campuran, Di DAS Kreo*.
- 7) Singgih, dkk, 2009, *Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis Untuk Menganalisis Genangan Air Hujan*.
- 8) Soewarno, 1991, *Hidrologi Pengukuran Dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometer)*. NOVA, Bandung.
- 9) Sosrodarsono, 2003, Suyono dan Kensaku Takeda, *Hidrologi Untuk Pengairan*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- 10) Suripin, 2004, *Drainase Perkotaan Berkelanjutan*. ANDI, Yogyakarta.
- 11) Wilson, EM, 1993, *Hidrologi Teknik*. ITB, Bandung.