

ANALISIS POTENSI PENYEBAB BANJIR SUB-DAS BABURA DENGAN MENGGUNAKAN PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Wandi Prima, Ali Nurman

Jurusan Pendidikan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial
Universitas Negeri Medan
Jl. Willem Iskandar Pasar V Medan, 20221, Indonesia
Email: alinurman@unimed.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui (1) Besarnya nilai debit puncak di Sub DAS Babura (2) Parameter yang berpengaruh pada debit puncak Sub DAS Babura. Penelitian ini dilaksanakan di Sub Daerah Aliran Sungai Babura. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh wilayah Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura. Penentuan sampel dalam penelitian ini dilakukan dengan teknik purposive sampling yaitu penentuan sampel lahan menurut metode cook. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah interpretasi, kerja lapangan, studi dokumenter. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan Bahwa (1) Debit puncak di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura dengan berbagai periode ulang 1, 2, 5, 10 adalah sebesar 49.16 m³/detik, 95.32 m³/detik, 126.35 m³/detik, 148.50 m³/detik. (2) Parameter yang berpengaruh pada debit puncak Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura adalah kemiringan lereng. Kemiringan lereng yang ada di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura bervariasi. Kemiringan lereng dengan konfigurasi relief perbukitan menjadi daerah yang paling luas di Daerah Aliran Sungai Babura yakni 3164,356 Ha (61,09%) dari luas keseluruhan Sub DAS Babura. Selain hal tersebut parameter yang juga mempengaruhi pada debit puncak sub DAS Babura yakni penggunaan lahan. Penggunaan lahan sebagian besar terdiri dari kebun campuran yaitu 2707,484 Ha (52,27%) dari luas keseluruhan DAS Babura, dan banyak penduduk membangun permukiman di sekitar Daerah Aliran Sungai Babura tersebut.

Kata kunci: Banjir, DAS, Penginderaan Jauh, SIG

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu wilayah daratan yang menjadi kesatuan antara sungai dan anak-anak sungainya yang dibatasi oleh pemisah topografis yang berfungsi menampung air dari curah hujan menyimpan dan mengalirkannya ke danau atau ke laut secara alami (Peraturan Pemerintah RI Nomor 37 Tahun 2012). Sebagai penerima, pengumpul, dan penyalur air, kondisi daerah aliran sungai memiliki peranan penting bagi keberlangsungan daur hidrologi yang ada didalamnya maupun proses – proses yang terkait dengan air hujan. Adanya daerah aliran sungai yang terawat dapat meminimalisir kerusakan alam, karena lingkungan yang terjaga. Banyaknya kebutuhan manusia dan kondisi alam yang dinamis membuat lingkungan dapat berubah sewaktu – waktu, terutama karena bencana. Bencana sering kali mengganggu struktur atau keseimbangan alam yang akan mempengaruhi siklus hidrologi, Salah satunya yaitu banjir.

Menurut Damanik dan Restu (2011), banjir merupakan salah satu bencana alam yang potensial terjadi di Provinsi Sumatera. Setidaknya terdapat 12 kabupaten/kota di Sumatera Utara memiliki tingkat risiko banjir sangat tinggi. Salah satunya berada di sekitar Sub-DAS Babura.

Sungai Deli merupakan salah satu induk sungai pada Satuan Wilayah Sungai (SWS) Belawan/ Belumai Ular dengan 5 (lima) anak sungai, yaitu Sei Kambing, Sei Babura, Lau Kelimut, Lau Petani, Sei Simai-mai. Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura secara administratif mencakup sebagian kecil dari Kabupaten Deli Serdang dan Kota Medan. DAS Babura mempunyai luas kurang lebih 5179,683 Ha yang terbentang dari hulu yaitu Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang hingga outletnya yaitu Kecamatan Medan Barat Kota Medan. Luas *catchment area* Sungai Babura hingga pertemuan Sungai Deli ialah 99 Km². Wilayah 10 Km² di sekitar Sungai Babura memiliki populasi penduduk kurang lebih sebesar 1.750.972 jiwa (0,01768 orang/m²) dan ketinggian

rata-rata wilayahnya 42 meter di atas permukaan laut (Dominggo, 2007 dalam Kurniawan, 2012).

Secara fisik wilayah Kota Medan memiliki banyak potensi. Sebagian Kota Medan mempunyai potensi sumber daya air yang cukup besar berupa air permukaan dan air tanah. Kondisi hidrologi sebagian kota medan dipengaruhi oleh Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura dimana sebagian wilayah Kota Medan termasuk dalam sistem DAS tersebut. Sebagian Kota Medan termasuk bagian hilir dari SubDAS Babura yang umumnya digunakan sebagai daerah pemanfaatan (discharge area) sehingga potensi sumber daya airnya sangat bergantung pada daerah hulu. Daerah hulu tersebut yang berfungsi utama sebagai daerah tangkapan air (recharge area) sehingga kondisi fisik daerah hulu sangat berpengaruh terhadap limpahan air yang akan diterima di daerah hilir, yaitu Kota Medan (Astuti, A.J.D dkk, 2013).

Permasalahan banjir hampir setiap tahun menjadi topik pemberitaan. Kota Medan juga mengalami permasalahan banjir yang sering terjadi di pinggiran daerah aliran sungai. Salah satu daerah aliran sungai yang sering mengalami kenaikan debit air adalah Sungai Babura. Sungai Babura hampir setiap tahun mengalami kenaikan debit puncak yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh tingkat curah hujan yang tinggi, topografi yang rendah, dan penutup/penggunaan lahan di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura. Banjir yang terjadi di kota medan pada tahun 2016 merendam enam kecamatan, yaitu Kecamatan Medan Johor, Kecamatan Medan Maimun, Kecamatan Medan Selayang, Kecamatan Medan Helvetia, Kecamatan Medan Petisah, dan Kecamatan Medan Polonia (www.beritasatu.com, 2016).

Linsley, et al (1975) dalam Gunawan, (1991) mengemukakan bahwa beberapa literatur terdahulu telah mengemukakan pengaruh karakteristik lingkungan fisik DAS dan respon hidrologinya. Atas dasar hubungan tersebut dapat digunakan sebagai alat kuantitatif untuk pendugaan respon hidrologi berdasarkan karakteristik fisik DAS. Ketersediaan data terkait parameter fisik DAS masih sangat terbatas sehingga perlu alternatif untuk memperoleh data tersebut. Teknologi penginderaan jauh merupakan teknik yang banyak digunakan untuk menyediakan data dan informasi geografis secara cepat dan akurat. Data

tentang faktor-faktor fisiografi DAS dapat diekstraksi dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Lillesand, et al. (1999) menyatakan bahwa teknologi penginderaan jauh belum dimanfaatkan secara optimal terutama dalam kajian hidrologi (DAS), padahal penginderaan jauh mempunyai keunggulan untuk ekstraksi parameter-parameter lahan dengan mudah, cepat, mencakup daerah yang luas, serta mampu menyajikan data hidrologi secara keruangan (*spatial variability*). Teknik penginderaan jauh dapat digunakan untuk menyadap data fisiografik melalui pendekatan kenampakan fisik permukaan bumi, karena pada dasarnya citra, penginderaan menggambarkan obyek-obyek yang tampak langsung di permukaan bumi (Sutanto, 1986).

Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan pemantauan Daerah Aliran Sungai (DAS) secara cepat dengan memanfaatkan citra landsat 8 OLI yang diintegrasikan dengan sistem informasi geografi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Sub DAS Babura yang merupakan salah satu Sub DAS dari DAS Deli. Secara astronomis Sub DAS Babura berada di 03° 08' 03" LU – 03° 16' 07" LU dan 98° 36' 06" BT – 98° 41' 85" BT. Berdasarkan pertimbangan peneliti memilih lokasi tersebut adalah terjadinya banjir di sungai Babura yang sesuai untuk dikaji dalam penelitian dan belum pernah dilakukan penelitian tentang potensi penyebab banjir di sungai Babura.

Populasi dalam penelitian ini adalah Sub DAS Babura. Penentuan sampel dengan cara teknik *purposive sampling*, yaitu penentuan sampel disesuaikan dengan kriteria-kriteria tertentu. Kriteria yang digunakan dalam pengambilan titik sampel yaitu, mengambil titik berdasarkan penggunaan lahan menurut metode *cook*. Pengenalan objek dilapangan melalui pengecekan dan pengamatan visual. Uji lapangan dilakukan untuk masing-masing jenis penggunaan lahan.

Data yang dianalisis adalah data yang di peroleh dari hasil pengumpulan data. Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif, karena penelitian ini menggunakan data kualitatif, yang bertujuan untuk menerangkan suatu keadaan secara objektif di daerah penelitian. Dengan menganalisis

dan menyajikan data secara sistematis kemudian dibantu dengan pembuatan skor dan tabel – tabel frekuensi setiap variabel yang dilengkapi dengan pembagian kategori – kategori.

Menentukan Nilai Koefisien Limpasan

Suripin (2004), menyatakan bahwa jika DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda maka C yang dipakai adalah koefisien DAS yang dapat dihitung. Nilai koefisien limpasan diperoleh dari overlay empat parameter yaitu kemiringan lereng, tekstur tanah, kerapatan aliran, dan penggunaan lahan, kemudian dikalikan dengan luas area Sub DAS.

$$CDAS = \frac{\sum_{i=1}^n 1 Ci. Ai}{\sum_{i=1}^n 1 Ai}$$

Dimana;

Ai =luas Sub DAS/luas lahan dengan jenis penutup tanah i(Ha),

Ci =koefisien limpasan dengan penutup tanah I (penggunaan lahan, tekstur tanah, kemiringan lereng)

N =jumlah jenis parameter.

Koefisien limpasan penggunaan lahan

Koefisien limpasan penggunaan lahan didapat dari hasil interpretasi citra landsat untuk identifikasi penggunaan lahan yang dihitung dengan luas area setiap penggunaan lahan dan skor atau bobot yang ada pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Penyesuaian Klasifikasi Penggunaan Lahan Dalam Metode Cook

Klasifikasi Bentuk Penggunaan Lahan	Karakteristik Tutupan Lahan Metode Cook	Kategori nilai	Harkat
Permukiman, permukaan diperkeras, lahan terbuka	Tidak ada tanaman penutup efektif atau sejenisnya	Tinggi	20
Sawah irigasi, sawah tadah hujan, semak/belukar, tegalan	Tanaman penutup sedikit hingga sedang. Tidak ada tanaman pertanian dan penutup alami sedikit, < 10% DAS tertutup baik	Tinggi	15
Hutan kurang rapat, tutupan vegetasi sedang	50% DAS tertutup baik oleh pepohonan dan rumput	Sedang	10
Hutan rapat, tutupan vegetasi rapat hingga sangat rapat	90% DAS tertutup baik oleh rumput, kayu-kayuan atau sejenisnya	Rendah	5

Sumber: modifikasi metode Linsley (1959); Mejerink (1970); Gunawan (1991) dan SCDT (2003) dalam Pratisto (2008)

Koefisien Limpasan Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng memiliki peran penting dalam jalannya air dari hulu menuju hilir suatu DAS, yaitu semakin curang lereng maka akan semakin mempercepat

perpindahan air, hal ini tentunya akan berpengaruh pada nilai C yang akan dihasilkan dari parameter kemiringan lereng. Seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Penyesuaian Klasifikasi Kemiringan Lereng Dalam Metode Cook

Kelas Lereng	Konfigurasi Relief	Kemiringan (%)	Harkat
I	Datar	0-5	10
II	Bergelombang	5-10	20
III	Perbukitan	10-30	30
IV	Medan Terjal dan Kasar	>30	40

Sumber: modifikasi Metode Linsley (1959); Mejerink (1970); Gunawan (1991) dan SCDT (2003) dalam Pratisto (2008)

Koefisien Limpasan Tekstur Tanah

Tekstur tanah termasuk dalam parameter penentuan banjir, karena merupakan gambaran kemampuannya dalam menyimpan air hujan, sehingga dapat

diketahui besar kecilnya limpasan yang dihasilkan. Table skor dari penyesuaian klasifikasi tekstur tanah dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Penyesuaian Klasifikasi Tekstur Tanah Dalam Metode Cook

Klasifikasi Tekstur Tanah	Tingkat Infiltrasi	Klasifikasi Menurut Metode Cook	Harkat
Pasir, Pasir Bergeluh	Tinggi	Pasir dalam, tanah Teragresi baik	5
Geluh Berpasir, Geluh Berdebu, Geluh, Geluh Berlempung	Normal	Tanah geluh, tanah berstruktur liat	10
Lempung Berpasir	Lambat	Infiltrasi lambat, tanah lempung	15
Lempung	Tidak Efektif	Tidak ada penutup tanah yang efektif, batuan padatan tipis	20

Sumber: Modifikasi Metode Linsley (1959); Meijerink (1970); Gunawan (1991) dan SCDT (2003) dalam Pratisto (2008)

Koefisien Limpasan Timbunan Air Permukaan

Timbunan air permukaan termasuk dalam parameter dalam penentuan banjir, karena memberikan indikasi bahwa air

hujan yang jatuh di setiap tempat tersimpan dalam lahan yang memiliki penggunaan lahan yang bervariasi. Tabel skor dari timbunan air permukaan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Timbunan Air Permukaan Dalam Metode Cook

Kerapatan aliran (mil/mil ²)	Kriteria	Klasifikasi Metode Cook	Harkat
>5	Tinggi	Permukaan dangkal, daerah pengaliran curam	20
>2 ≤ 5	Rendah	Sistem drainase baik	15
>1 ≤ 2	Normal	Ada danau, empang, rawa <2% daerah pengaliran Drainase jelek, timbunan air permukaan besar	10
≤1	Diabaikan		5

Sumber: Modifikasi Metode Linsley (1959); Meijerink (1970); Gunawan (1991) dan SCDT (2003) dalam Pratisto (2008)

Menghitung Intensitas Curah Hujan

Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi adalah suatu analisis data hidrologi dengan menggunakan statistika yang bertujuan untuk memprediksi suatu besaran hujan atau debit dengan masa ulang tertentu. Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi dan yang banyak digunakan dalam hidrologi yaitu:

Distribusi Normal

Untuk data hidrologi distribusi normal, menggunakan rumus:

$$\text{rata-rata: } X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\text{Simpangan Baku: } Sd = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$\text{Koefisien variasi: } Cv = \frac{Sd}{\bar{X}}$$

$$\text{Koefisien skewness: } Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n \{(x_i) - \bar{X}\}^3}{(n-1)(n-2)Sd^3}$$

$$\text{Koefisien kurtosis: } Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{(x_i) - \bar{X}\}^4}{Sd^4}$$

Dimana:

\bar{X} = nilai rata-rata

X_i = nilai data ke - i

Sd = standar deviasi

Cv = Koefisien variasi

Cs = koefisien skewness

Ck = koefisien kurtosis

Untuk menghitung periode ulang T-tahunan pada distribusi normal menggunakan rumus:

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S$$

Dimana:

X_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

\bar{X} = nilai rata-rata hitung sampel

S = deviasi standard nilai sampel

K_T = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau ayang digunakan periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

Distribusi Log Person Tipe III

Untuk data hidrologi distribusi log person tipe III, menggunakan rumus:

Nilai rata-rata:

$$\text{Log } \bar{X} = \sum_{i=1}^n \text{Log } X_i$$

Simpangan baku:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X) - \text{Log}(\bar{X})^2}{N - 1}}$$

Koefisien kemencengan:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=0}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)S^3}$$

Periode ulang T:

$$\text{Log } X_T = \text{log } \bar{X} + K \cdot s$$

Dimana:

Log \bar{X} = nilai rata-rata

Log X_i = nilai data ke - i

S = standar deviasi

Cv = Koefisien variasi

Cs = koefisien skewness

Log X_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

Log \bar{X} = nilai rata-rata hitung sampel

S = deviasi standard nilai sampel

K = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau ayang digunakan periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

Uji Kecocokan

Uji kecocokan untuk menguji parameter distribusi frekuensi sampel data terhadap distribusi peluang yang mewakili frekuensi. Pengujian ini dilakukan melalui dua tahap, yaitu:

Uji Chi-Kuadrat

Uji chi-kuadrat menggunakan rumus:

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Dimana:

X_h^2 = parameter chi – kuadrat terhitung

G = jumlah Sub Kelompok

O_i = jumlah nilai pengamatan pada Sub kelompok i

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji smirnov-kolmogorov menggunakan rumus:

$$D_n = \max \{f_0(x) - SN(x)\}$$

Dimana $f_0(x)$ menyatakan sebaran frekuensi kumulatif yaitu sebaran frekuensi teoritik berdasarkan H_0 . Untuk setiap harga x, $f_0(x)$ merupakan proporsi harapan yang nilainya sama atau lebih kecil dari x. $SN(x)$ adalah

sebaran frekuensi kumulatif dari suatu sampel sebesar N pengamatan.

Rumus Mononobe

Intensitas hujan (mm/jam) dapat diturunkan dari data curah hujan. Perhitungan intensitas hujan ini dilakukan untuk menghitung debit puncak dengan menggunakan rumus mononobe, yaitu:

$$\text{Rumus } I = \left[\left(\frac{R_{24}}{24} \right) \times \left(\frac{24}{T_c} \right) \right]^{2/3}$$

Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir dari titik terjauh daerah tangkapan hujan ke saluran keluar (Outlet) atau waktu yang dibutuhkan oleh air dari awal curah hujan sampai terkumpul serempak mengalir ke saluran keluar (Outlet). Untuk menghitung waktu konsentrasi menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Kirpich:

$$T_c = 0,0195 L^{0,77} S^{0,385}$$

Dimana ;

I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

R_{24} = curah hujan maksimum harian

T_c = waktu konsentrasi

L = panjang alur utama

H = selisih ketinggian hulu dengan hilir sungai (m)

S = H/L

Menghitung Debit Puncak Menggunakan Metode Rasional

Metode untuk pengukuran debit puncak menggunakan metode rasional cocok digunakan untuk menghitung debit maksimum, rumus matematis metode rasional yaitu:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dimana;

Q = debit maksimum (m^3/detik)

C = koefisien limpasan

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (Km^2)

0.278 = konstanta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Dalam bab ini yang akan diuraikan adalah data-data hasil penelitian yang diperoleh dari lapangan melalui data deskriptif kualitatif dan juga melalui data studi dokumentasi. Pemaparan hasil penelitian ini pada dasarnya yaitu ingin melihat debit puncak di sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura, parameter apa yang

berpengaruh pada debit puncak sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura, hasil penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut.

Debit Puncak di Sub DAS Babura

Data debit merupakan informasi yang sangat penting dalam pengelolaan sumber daya air. Data debit puncak (banjir) diperlukan untuk merancang bangunan pengedali banjir. Debit puncak dapat dicari

dengan menggunakan rumus $Q = 0.278 \times C \times I \times A \text{ m}^3/\text{detik}$.

Berdasarkan data yang diperoleh dari koefisien limpasan (C), intensitas hujan (I), luas DAS (A) maka dapat dihitung debit puncak Sub DAS Babura dengan menggunakan metode rasional untuk berbagai kala ulang tertentu.

Tabel 5. Debit Puncak Di Sub DAS Babura

Kala Ulang (Tahun)	Koefisien Limpasan (C)	Intensitas (mm/jam)	Luas DAS (A)	Dedit Puncak (m ³ /detik)
1	0.68	5.02	51.8	49.16
2	0.68	9.73	51.8	95.32
5	0.68	12.90	51.8	126.35
10	0.68	15.17	51.8	148.50

Sumber: Hasil Perhitungan 2018

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dinyatakan bahwa pada kala ulang 1 (satu) tahun selama durasi hujan (waktu konsentrasi) 9, 27 jam dengan intensitas 5, 02 mm/jam seluas 51, 80 km² maka debit puncak yang diperoleh pada Sub DAS Babura sebesar 49, 16 m³/detik. Untuk penentuan debit puncak diperoleh melalui perhitungan variabel sebagai berikut ini.

Koefisien limpasan (C)

Dalam penentuan debit banjir menggunakan metode rasional diperlukan nilai koefisien limpasan (*run off coefficient*). Nilai koefisien limpasan ini menunjukkan perbandingan antara besarnya air larian terhadap besarnya curah hujan. Air larian adalah bagian dari curah hujan yang mengalir diatas permukaan tanah menuju ke sungai. Pada penelitian ini, nilai koefisien limpasan (C) berdasarkan empat parameter DAS yakni penggunaan lahan, tanah, kerapatan aliran, dan kemiringan lereng. Dalam menentukan nilai dari keempat parameter fisik DAS menggunakan metode cook. Nilai dari empat parameter tersebut akan dijabarkan sebagai berikut.

a. Penggunaan Lahan Di Sub DAS Babura

Interpretasi visual citra landsat dilakukan untuk mendapatkan penggunaan lahan di

Sub DAS Babura. Berdasarkan interpretasi visual penggunaan lahan di sub DAS Babura menurut metode cook dapat terbagi menjadi 3 (tiga) jenis, yakni 1) permukiman 20.60 km², permukaan diperkeras 1.84 km², lahan terbuka 0.28 km², 2) sawah 2 km², 3) kebun campuran 27.07 km².

Penggunaan lahan secara tidak langsung mengubah fungsi hidrologi daerah aliran sungai (DAS) yaitu sebagai transmisi air (*transmit water*), fungsi penyangga (*buffering*) dan fungsi pelepasan air secara bertahap (*gradually release water*). Indikator perubahan fungsi hidrologi daerah aliran sungai dapat dilihat melalui pengamatan komponen hidrologi yang meliputi koefisien aliran permukaan, koefisien regim sungai, nisbah debit maksimum-minimum, kandungan sendimen laying sungai, laju frekuensi dan periode banjir, serta keadaan air tanah.

Perubahan kegunaan lahan mengakibatkan tanah semakin keras karena adanya kegiatan oleh manusia, sehingga kemampuan infiltrasi tanah semakin berkurang. Apabila tidak dilakukan penanganan/pencegahan akan menyebabkan peningkatan debit puncak setiap tahunnya, sehingga daerah bagian tengah dan hilir akan berpotensi terkena bencana banjir.

Tabel 6. Klasifikasi Penggunaan Lahan Sub DAS Babura

No	Penggunaan lahan	A (Km ²)	C	CXA
1	Permukiman, permukaan diperkeras, lahan terbuka	22.72	0.2	4.544
2	Sawah irigasi	2.00	0.15	0.3
3	Kebun campuran	27.07	0.1	2.707
Jumlah		51.79		7.551

Sumber: Hasil Interpretasi 2018

Berdasarkan tabel 6 diatas diketahui nilai penggunaan lahan menurut metode cooks sebesar 0, 15. Hasil ini didapat dari 7, 551 dibagi dengan 51, 79. Hal ini sesuai dengan metode yang digunakan menurut suripin.

b. Kemiringan Lereng

Lereng adalah kenampakan permukaan alam disebabkan oleh adanya beda tinggi apabila beda tinggi dua tempat tersebut di bandingkan dengan jarak lurus mendatar sehingga akan diperoleh besarnya kelereng (slope).

Kemiringan lereng Daerah Aliran Sungai mempengaruhi jumlah dan waktu aliran untuk mencapai permukaan. Pada umumnya, semakin miring permukaan tanah diatasnya, semakin miring pula drainase alami di dalam Daerah Aliran

Sungai (DAS), dan semakin cepat aliran ke bawah menyebabkan semakin tinggi debit teramati di permukaan. Kemiringan lereng merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam penentuan nilai koefisien aliran Daerah Aliran Sungai (DAS). berdasarkan metode cook, semakin besar kemiringan lereng suatu daerah maka akan menyebabkan aliran permukaan semakin besar pula sehingga pengharkatan daerah-daerah yang memiliki kemiringan lereng yang tinggi juga akan semakin besar. Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura memiliki kemiringan lereng yang bervariasi mulai dari kemiringan lereng yang datar sampai kemiringan lereng yang sangat curam. Perhitungan metode cook untuk parameter kemiringan lereng Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Kemiringan Lereng Sub DAS Babura

No	Kemiringan Lereng	A (Km ²)	C	CxA
1	0-≤5	4. 39	0. 1	1, 868
2	>5-≤10	9. 34	0. 2	0, 439
3	>10-≤30	31. 65	0. 3	9, 495
4	>30	6. 41	0. 4	2, 564
Jumlah		51, 79		14, 366

Sumber: Hasil Penelitian 2018

Berdasarkan tabel 7 diatas dapat dilihat bahwa klasifikasi kemiringan lereng di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura sangat beragam, mulai dari kelas lereng I (Datar), kelas lereng II (bergelombang), kelas lereng III (Perbukitan), dan kelas lereng IV (medan terjal dan kasar). Namun, kemiringan lereng kelas III (Perbukitan) memiliki kemiringan lereng yang terluas di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura dengan luas 31, 65. Dengan melihat kondisi kemiringan lereng yang didominasi oleh lereng – lereng dengan kemiringan yang curam maka akan sangat mempengaruhi kecepatan aliran permukaan, karena semakin tinggi kemiringan lereng maka tidak akan memberikan air untuk meresap ke dalam tanah dan akan menyebabkan koefisien aliran semakin besar.

Berdasarkan tabel 18 diatas diketahui nilai kemiringan lereng menurut metode cook sebesar 0. 28. Hasil ini didapat dari 14, 366 dibagi dengan 51. 79. Hal ini sesuai dengan metode yang digunakan menurut suripin.

c. Infiltrasi Tanah

Secara umum proses resapan air tanah terjadi melalui 2 proses berurutan, yaitu

infiltrasi yaitu suatu proses masuknya air, baik air hujan maupun air irigasi dari permukaan tanah ke dalam permukaan tanah. Daya infiltrasi adalah laju infiltrasi maksimum yang mungkin, yang ditentukan oleh kondisi permukaan tanahnya. Laju infiltrasi akan sama dengan intensitas hujan jika laju infiltrasi masih lebih kecil dari daya infiltrasinya. Proses infiltrasi berperan penting dalam pengisian kembali lensas tanah dan air tanah. Pengisian kembali lensas tanah sama dengan selisih antara infiltrasi dan perkolasi (jika ada).

Proses peresapan air hujan dalam siklus hidrologi akan mempengaruhi besarnya kapasitas air bawah tanah. Bagian pada proses ini dikenal sebagai infiltrasi, yaitu proses masuknya air dari permukaan ke dalam tanah pada zona air tanah tidak jenuh (*unsaturated zone*). Infiltrasi ini sangat bergantung pada struktur tanah, tekstur tanah, batuan, distribusi rongga (*voids*), dan suplai air yang cukup. Besarnya laju infiltrasi ini berguna untuk menafsirkan zona resapan dan berhubungan dengan kapasitas air bawah permukaan.

Dalam metode cook, infiltrasi merupakan salah satu parameter yang perlu untuk dikaji. Infiltrasi dapat dilihat dari

analisis tekstur tanah di setiap satuan lahannya. Semakin kasar tekstur tanah maka tingkat infiltrasi yang ada di suatu lahan akan semakin rendah (lambat), begitu pula sebaliknya semakin halus tekstur tanah maka

tingkat infiltrasi tanah akan semakin tinggi (cepat). Infiltrasi tanah di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Jenis Tanah dan Tekstur Tanah Sub DAS Babura

Jenis tanah	Tekstur tanah	Infiltrasi	Harkat
Inceptisol	Geluh berdebu	Normal	10
	Geluh berlempung	Normal	10

Sumber: BPDAS Wampu Sei Ular

Berdasarkan tabel 8 diatas dapat dilihat bahwa jenis tanah yang terdapat di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura adalah jenis tanah inceptisol. Jenis tanah tersebut mempunyai tekstur tanah yang berbeda-beda. Tekstur tanah inceptisol di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura memiliki tekstur tanah geluh berlempung dan geluh berdebu. Menurut kelas metode cook tekstur tanah berlempung dan tekstur tanah berdebu memberikan kontribusi yang normal terhadap koefisien aliran Daerah Aliran Sungai (DAS), karena tekstur tanah geluh berlempung dan geluh berdebu memberikan tingkat infiltrasi yang normal.

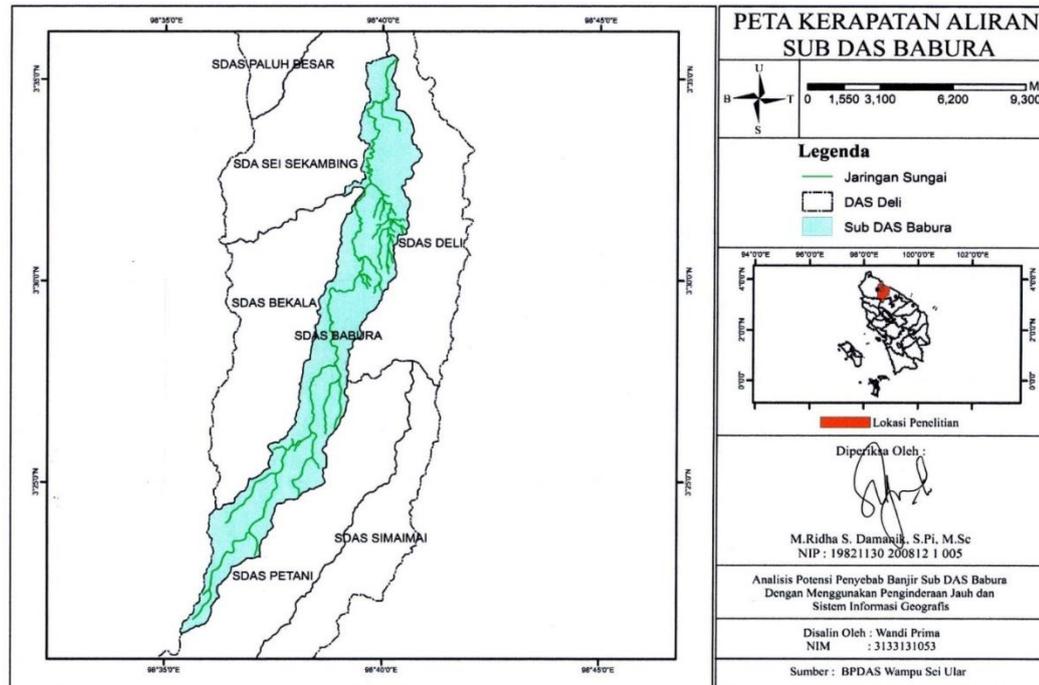
d. Timbunan Air Permukaan

Timbunan air permukaan dapat didekati dengan kerapatan aliran. Kerapatan aliran sungai merupakan gambaran kapasitas penyimpanan air permukaan dalam cekungan-cekungan seperti danau, rawa, dan badan sungai yang mengalir di suatu DAS. Meijerink (1970) menyatakan bahwa kerapatan drainase suatu wilayah dapat digunakan untuk mewakili atau menilai secara numerik kondisi simpanan air permukaan yang mewakili wilayah tersebut. Linsey dkk (1975) menyatakan bahwa kerapatan drainase (Dd) merupakan panjang total sungai (satuan Mil) dibagi luas DAS (satuan Mil²). Karakteristik simpanan air permukaan di Sub DAS Babura

berdasarkan klasifikasi tersebut ialah tergolong dalam kelas rendah dengan kerapatan aliran yang memiliki harkat 15. Hasil kerapatan aliran Sub DAS Babura adalah 2. 3 mil/mil². Hasil tersebut didapat dari pembagian total panjang sungai yakni 46. 180 mil dengan luas sub DAS 20 mil². Untuk melihat peta kerapatan aliran dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini.

Simpanan permukaan air rendah berarti tanah rendah saat mengalami pengeringan saat terjadi hujan yang menjadi limpasan permukaan. Kerapatan aliran sungai adalah suatu angka indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai di dalam suatu DAS. Dari hasil perhitungan kerapatan alur Sub DAS Babura maka pemberian harkat untuk indikator ini adalah 15.

Kerapatan jaringan sungai akan mempengaruhi banyaknya air hujan dialirkan secara langsung atau tertahan di dalam DAS. Cepat atau lambatnya air hujan tersebut dialirkan atau tertahan di dalam DAS dan waktu tempuh yang digunakan oleh air hujan yang jatuh dari tempat terjauh dalam DAS menuju *outlet* (waktu konsentrasi). Dari hasil perhitungan kerapatan alur Sub DAS Babura maka dapat dianalisis bahwa air hujan akan menjadi aliran yang semakin besar karena nilai Dd yang diperoleh rendah. Artinya pada saat curah hujan yang tinggi maka akan rentan menyebabkan daerah Sub DAS Babura mengalami banjir.



Gambar 1. Peta Kerapatan Aliran

Berdasarkan data yang diperoleh dari keempat parameter diatas maka dapat dihitung nilai koefisien limpasan (C). Nilai koefisien limpasan didapat melalui perhitungan metode CDAS. Dari hasil perhitungan didapat nilai koefisien limpasan Sub DAS Babura adalah 0,68. Dari nilai koefisien limpasan ini dapat diketahui bahwa 0,68 dari air hujan yang turun akan melimpas ke permukaan yang kemudian akan mengalir menuju daerah hilir (outlet).

Nilai koefisien limpasan dapat juga digunakan untuk menentukan kondisi fisik dari suatu DAS. Dari nilai koefisien limpasan sebesar 0,68 maka dapat dinyatakan bahwa Sub DAS Babura memiliki kondisi fisik yang agak ekstrim. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kodoatie dan Sjarief (2005), yang mengatakan bahwa angka koefisien aliran permukaan itu merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0-1. Nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terintersepsi dan infiltrasi 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.

Intensitas Curah Hujan

Sub DAS Babura merupakan salah satu anak sungai dari DAS Deli. Sub DAS Babura melintasi sebagian wilayah Kabupaten Deli Serdang dan Kota Medan.

Dalam penulisan ini stasiun curah hujan yang digunakan adalah stasiun medan tuntungan yang memiliki intensitas curah hujan tertinggi dan paling mewakili curah hujannya.

1) Penentuan Pola Distribusi Hujan

Penentuan pola distribusi atau sebaran hujan dilakukan dengan menganalisis data curah hujan harian maksimum yang diperoleh dengan menggunakan analisis frekuensi. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai untuk masing-masing parameter statistik adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Parameter Statistik Analisis Frekuensi

Parameter	Normal	Log Person Type III
Rata-rata	$\bar{X} = 132.3$	$\bar{X} = 132.3$
Simpangan Baku	$Sd = 44.20$	$Sd = 0.14$
Koefisien Variasi	$Cv = 0.3$	$Cv = 0.06$
Koefisien Skewness	$Cs = 0.8$	$Cs = 0.35$
Koefisien Kurtosis	$Ck = 1.94$	

Sumber: Hasil Perhitungan 2018

Berdasarkan hasil perhitungan parameter statistik yang diperoleh pada lampiran 1 tersebut maka ditetapkan bahwa jenis distribusi yang cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum di wilayah studi adalah Log Person Type III untuk menghitung curah hujan rancangan dengan berbagai kala ulang.

2) Uji Kecocokan (*Goodness of Fit*)

Dari distribusi yang telah diketahui, maka dilakukan uji statistik untuk

mengetahui kesesuaian distribusi yang dipilih dengan empiris. Pada penelitian ini, uji statistik dilakukan dengan metode chi-Square dan Smirnov-Kolmogorov. Menurut Sri Harto (2000), setiap distribusi mempunyai ciri yang khas sehingga data curah hujan harus diuji kecocokannya dengan metode chi-square dan smirnov-kolmogorov. Pemilihan distribusi yang tidak benar dapat menimbulkan kesalahan yang cukup besar baik *over estimate* maupun *under estimate*.

Tabel 10. Hasil Uji-Square dan Smirnov-Kolmogorov

Uji Kecocokan	Nilai tabel	Nilai hitung
Chi-Square	5.991	1.0
Smirnov-Kolmogorov	0.41	0.20

Sumber: Hasil Perhitungan 2018

Dari tabel 10 dapat dilihat bahwa dengan uji chi-square diperoleh nilai $X^2_{hitung} < X^2_{tabel}$ sedangkan smirnov-kolmogorov diperoleh nilai $D_{hitung} < D_{tabel}$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa H_0 diterima. Hal ini berarti bahwa distribusi observasi (pengamatan) dan distribusi teoritis (yang diharapkan) tidak berbeda secara nyata atau dapat dinyatakan pola distribusi yang digunakan sudah tepat yaitu distribusi Log Person Type III.

Berdasarkan analisis frekuensi yang dilakukan pada data curah hujan harian maksimum diperoleh bahwa jenis distribusi yang paling cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura adalah distribusi Log Person Type III. Untuk itu, data curah hujan harian maksimum yang diperoleh diubah dalam bentuk logaritmik sehingga parameter statistik berubah sesuai dengan tabel 11 dibawah ini.

3) Curah Hujan Rencana

Tabel 11. Frekuensi Distribusi Log Person Type III

Parameter	Nilai
Rata-rata	$\bar{X} = 2.10$
Simpangan Baku	$S = 0.14$
Koefisien variasi	$C_v = 0.06$
Koefisien Skewness	$C_s = 0.3$

Sumber: Hasil Perhitungan 2018

Setelah itu, dilakukan perhitungan curah hujan rancangan pada periode ulang yang telah ditentukan dengan persamaan $\text{Log } X_T = \log \bar{X} + K.S$ sehingga: $\text{Log } X_T = 2.1 + K.0.14$.

Berdasarkan persamaan di atas dapat dihitung hujan rancangan untuk berbagai periode ulang. Hujan rancangan ini dapat dilihat pada tabel 12 berikut.

Tabel 12. Hujan Rancangan Berbagai Periode Ulang

Kala Ulang (Tahun)	Hujan Rancangan (mm)
1	63.89
2	123.87
5	164.19
10	191.98

Sumber: Hasil Perhitungan 2018

4) Intensitas Hujan

Untuk mendapatkan intensitas hujan dalam periode 1 jam dari data curah hujan

harian maksimum digunakan rumus mononobe. Hal ini disebabkan karena data curah hujan jangka pendek tidak tersedia,

yang ada hanya data curah hujan harian, maka intensitas curah hujan dapat dihitung dengan rumus mononobe sesuai dengan pernyataan Lubis (1992) bahwa intensitas curah hujan (mm/jam) dapat diturunkan

dari data curah hujan harian empiris menggunakan metode mononobe. Hasil analisis ditunjukkan dalam tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13. Intensitas Hujan

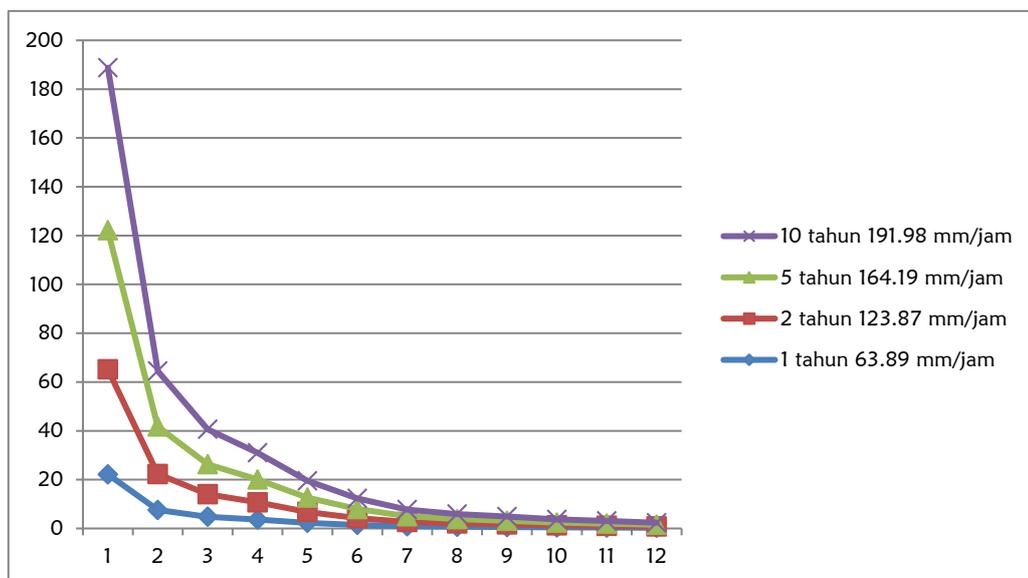
Periode Ulang R 24 T (Menit)	Intensitas (mm/jam)			
	1 Tahun	2 Tahun	5 Tahun	10 Tahun
1	63.89	123.87	164.19	191.98
5	22.17	42.98	56.98	66.63
10	7.57	14.69	19.47	22.77
15	4.77	9.25	12.26	14.30
30	3.64	7.06	9.36	10.90
60	2.29	4.44	5.89	6.89
120	1.44	2.80	3.71	4.34
180	0.90	1.76	2.33	2.73
240	0.69	1.34	1.78	2.08
360	0.57	1.11	1.47	1.72
480	0.43	0.84	1.12	1.31
720	0.36	0.69	0.92	1.08
720	0.27	0.53	0.70	0.82

Sumber: Hasil Perhitungan 2018

Hasil analisis berupa intensitas hujan dengan durasi dan periode ulang tertentu dihubungkan ke dalam sebuah kurva *intensity duration frequency* (IDF). Kurva IDF menggambarkan hubungan antara dua parameter penting hujan yaitu durasi dan intensitas hujan yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk menghitung debit puncak dengan menggunakan metode rasional. Hal ini sesuai dengan pernyataan

Susrodarsono dan Takeda (1993), yang mengatakan bahwa lengkung *intensity duration frequency* (IDF) ini digunakan dalam menghitung debit puncak dengan metode rasional untuk menentukan intensitas curah hujan rata-rata dari waktu konsentrasi yang dipilih.

Dari tabel diatas dapat dibuat *intensity duration frequency* (IDF) seperti gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Kurva IDF (*intensity duration frequency*)

Dari kurva IDF terlihat bahwa intensitas hujan yang tinggi berlangsung dengan durasi pendek. Hal ini menunjukkan

pada umumnya hujan deras berlangsung dalam waktu singkat. Namun, hujan tidak deras (rintik-rintik) berlangsung dalam

waktu lama. Interpretasi kurva IDF diperlukan untuk menentukan debit banjir rencana mempergunakan metode rasional.

5) Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi digunakan untuk menentukan lamanya air hujan mengalir dari hulu sungai hingga ke tempat keluaran DAS. Waktu konsentrasi (t_c) dihitung dengan menggunakan rumus Kirpich (1940). Berdasarkan data pangjang dan selisih ketinggian hulu dengan hilir sungai sebelumnya, diperoleh nilai waktu konsentrasi sebesar 9, 27 jam. Hal ini berarti bahwa waktu yang diperlukan oleh air sungai dari hulu sampai ke hilir DAS sebesar 9, 27 jam.

Luas DAS

Luas DAS merupakan salah satu faktor penting dalam pembentukan hidrograf aliran. Sub DAS Babura memiliki luas 5179, 683 Ha atau 51, 80 km². Semakin besar luas DAS, ada kecenderungan semakin besar jumlah curah hujan dan puncak hidrograf aliran menjadi lebih lama. Demikian pula waktu yang diperlukan untuk mencapai puncak hidrograf dan lama waktu untuk keseluruhan hidrograf aliran juga menjadi lebih tinggi.

1. Parameter Yang Berpengaruh Pada Debit Puncak Sub DAS Babura

Parameter yang berpengaruh pada debit puncak Sub DAS Babura dilihat dari fisik DAS. Karakteristik fisik Daerah Aliran Sungai (DAS) yang terkait adalah penggunaan lahan, kemiringan lereng, kerapatan aliran, dan tekstur tanah. Untuk menentukan parameter fisik yang mempengaruhi dilihat dari besarnya nilai koefisien limpasan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya nilai air limpasan terhadap besarnya curah hujan. Nilai koefisien limpasan sebesar 0. 68 hal ini berarti 68 persen curah hujan yang jatuh di sub DAS Babura akan langsung menjadi limpasan dan hanya 32 persennya saja yang mampu meresap kedalam tanah.

Nilai koefisien limpasan di sub DAS Babura didapat dari penjumlahan penggunaan lahan dengan nilai 0. 15, kemiringan lereng 0. 28, kerapatan aliran 0. 15, dan tekstur tanah 0. 10. Berdasarkan nilai dari keempat parameter tersebut dapat dilihat penyebab nilai koefisien limpasan tinggi adalah kemiringan lereng. Kemiringan lereng DAS mempengaruhi perilaku hidrograf dalam hal timing. Semakin tinggi

besar kemiringan suatu DAS, semakin cepat laju air larian, dan dengan demikian, mempercepat respons DAS tersebut oleh adanya curah hujan. Bentuk topografi seperti kemiringan lereng, keadaan parit, dan bentuk-bentuk cekungan permukaan tanah lainnya akan mempengaruhi laju dan volume limpasan.

Penggunaan lahan merupakan salah satu parameter dalam menentukan nilai koefisien limpasan. Penggunaan lahan yang selalu berubah, menunjukkan semakin banyak manusia yang bermukim pada suatu wilayah, maka semakin besar intervensi manusia dalam mengubah fungsi lahan untuk berbagai macam bentuk kegiatan. Tumbuhnya daerah permukiman dan kegiatan baru didalam badan sungai membuat nilai koefisien limpasan semakin tinggi. Air hujan yang jatuh ke bumi tidak terserap ke dalam tanah, melainkan mengalir di permukaan dan menuju ke sungai. Hal ini menyebabkan debit air sungai akan semakin tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Debit puncak di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura dengan berbagai periode ulang 1, 2, 5, 10 adalah sebesar 49. 16 m³/detik, 95.32 m³/detik, 126. 35 m³/detik, 148. 50 m³/detik.
2. Parameter yang berpengaruh pada debit puncak Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura adalah kemiringan lereng. Kemiringan lereng yang ada di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Babura bervariasi. Kemiringan lereng dengan konfigurasi relief perbukitan menjadi daerah yang paling luas di Daerah Aliran Sungai Babura yakni 3164, 356 Ha (61, 09%) dari luas keseluruhan Sub DAS Babura. Selain hal tersebut parameter yang juga mempengaruhi pada debit puncak sub DAS Babura yakni penggunaan lahan. Penggunaan lahan sebagian besar terdiri dari kebun campuran yaitu 2707, 484 Ha (52. 27 %) dari luas keseluruhan DAS Babura, dan banyak penduduk membangun permukiman di sekitar Daerah Aliran Sungai Babura tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, dkk. 2013. Analisis Tingkat Kerentanan Banjir Dengan Pendekatan Geoekosistem di Sub DAS Babura Provinsi Sumatera Utara. Jurnal JUPIIS. Volume 5, Nomor 1 Tahun 2013. Medan. Jurusan Pendidikan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial.
- BeritaSatu, 2016. Medan Dilanda Banjir. <https://www.beritasatu.com/nasional/347959/medan-dilanda-banjir-diakses-29-Februari-2018>.
- Damanik, M. R. S., & Restu, R. (2012). Pemetaan Tingkat Risiko Banjir dan Longsor Sumatera Utara Berbasis Sistem Informasi Geografis. JURNAL GEOGRAFI, 4(1), 29-42.
- Gunawan, T. 1991. Penerapan Teknik Penginderaan Jauh Untuk Menduga Debit Puncak Menggunakan Karakteristik Lingkungan Fisik DAS (Studi Kasus Di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Hulu, Jawa Tengah). Disertasi. Bogor. IPB
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil engineering, 10(6), 362
- Kodoatie, R.J., dan Roestam, S. 2005. Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Kurniawan, Anggi. 2012. Analisa Debit Banjir Rancangan Sungai Babura di Hilir Kawasan Kampus USU. Skripsi. Medan: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
- Lillesand T.M and Kiefer R.W. 1999. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Linsley, R.K., Kohler and Paulhus, J.L., 1975. Hydrology for Engineers. Mc.Graw-Hill/Kogakusha Ltd. Tokyo
- Lubis, J., 1992. Banjir Rencana Pembangunan Air. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Meijerink, A.M.J., 1970. Photo Interpretation in Hydrology A Geomorphological Approach. ITC. Delf.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.
- Pratisto, A., 2008. The Impact of Landcover Change on Discharge Response and Flood Hazard. A Case Studi in Gesing Subwatershed, Indonesia. Tesis. Double Degree, Program Studi Geo-Informasi Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada dan ITC. Yogyakarta. Tidak diterbitkan.
- Sosrodarsono, S., dan Takeda. 1999. Hidrologi Untuk Pengairan. P.T. Pradnya Paramita, Jakarta
- Sri Harto, 2000. Hidrologi Teori Masalah Penyelesaian. Nafiri, Jakarta
- Suripin, 2004., Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan, Andi, Yogyakarta
- Sutanto. 1986. Penginderaan Jauh Jilid 1. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

