BAB III
LANDASAN TEORI

A. Curah Hujan Wilayah

Dalam menghitung curah hujan wilayah pada penelitian ini menggunakan metode poligon Thiessen. Metode ini memperhitungkan luas daerah yang mewakili stasiun-stasiun hujan yang bersangkutan, digunakan sebagai faktor bobot dalam perhitungan curah hujan rata-rata.

Cara menggambar poligon Thiessen sebagai berikut:

1. Stasiun pencatat hujan digambarkan pada peta DAS yang ditinjau, termasuk stasiun hujan di luar DAS yang berdekatan.
2. Stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus (garis terputus-putus) sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang sisi yang sama.
3. Dibuat garis berat pada sisi segitiga.
4. Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun yang berada di dekat DAS, garis batas DAS membentuk batas tertutup poligon
5. Luas tiap poligon diukur dan kemudian dikalikan dengan hujan di stasiun yang berada di dalam poligon
6. Luas dari tiap dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan hujan rerata daerah tersebut, yang dalam bentuk matematika mempunyai bentuk sebagai berikut.

$$\overline{p}=\frac{A_1p_1+A_2p_2+\ldots+A_np_n}{A_1+A_2+\ldots+A_n} \qquad 3.1$$

Dengan :

$\bar{p}$	: hujan rerata kawasan;
$P_1, P_2, \ldots\ldots P_n$	: hujan pada stasiun 1,2, ... , n;
$A_1, A_2, \ldots An$	: luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ... , n;
n	: banyaknya stasiun hujan.

B. Perbaikan Data Curah Hujan yang tidak ada

Dalam penggunaan data hujan yang ada sering mengalami dua masalah. Permasalahan pertama adalah tidak tercatatnya data hujan karena rusaknya alat ukur atau pengamat tidak mencatat data. Data yang hilang ini dapat diisi dengan nilai perkiraan. Permasalahan kedua adalah karena perubahan kondisi di wilayah pencatatan, seperti perbaikan stasiun, perubahan prosedur pengukuran atau karena penyebab lainnya.

Untuk menentukan data yang hilang dapat menggunakan metode *Reciprocal,* dalam metode ini diperlukan stasiun pembanding, di mana stasiun pembanding memiliki elevasi yang tidak jauh berbeda dari stasiun yang dikaji. Perhitungan dapat dilakukan dengan rumus :

$$Px = \left[\frac{\frac{P_A}{dxA^2}+\frac{P_B}{dxB^2}+\cdots+\frac{P_n}{dxn^2}}{\frac{1}{dxA^2}+\frac{1}{dxB^2}+\cdots+\frac{1}{dxn^2}}\right] \qquad 3.2$$

Di mana,

Px = hujan di stasiun xi yang diperkirakan (mm)

P_A= hujan di stasiun A (mm)

d_{xA} = jarak antara stasiun A dan stasiun x (km)

P_B= hujan di stasiun B (mm)

d_{xB} = jarak antara stasiun B dan stasiun x (km)

P_n = hujan di stasiun ke n (mm)

d_{xn} = jarak antara stasiun n dan stasiun x (km)

C. Hidrograf

Hidrograf adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara parameter aliran dan waktu. Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan langsung (*direct runoff hydrograph*) yang dihasilkan oleh hujan efektif yang merata di seluruh DAS, dengan intensitas tetap dalam periode waktu tertentu. Dalam penggunaannya diasumsikan bahwa :

1) Hujan yang terjadi merata di seluruh DAS (Daerah Aliran Sungai) dengan intensitas tetap dalam satu satuan waktu yang ditetapkan.
2) Hujan terjadi kapan pun, tidak berpengaruh terhadap proses transformasi hujan menjadi debit/hidrograf (*time invariant*).
3) Debit/hidrograf berbanding lurus dengan hujan, dan berlaku asas superposisi (*linier system*).
4) Waktu resesi yaitu waktu saat terjadinya debit puncak sampai akhir limpasan langsung selalu tetap.

Pada tahun 1932, L.K Sherman mengenalkan konsep hidrograf satuan, yang banyak digunakan untuk melakukan transformasi dari hujan menjadi debit aliran. Hidrograf satuan terukur basis data yang dibutuhkan adalah data hujan dan data debit terukur ada sedangkan hidrograf satuan sintetis berupa rumusan empiris dimana data yang dibutuhkan adalah karakteristik DAS dan faktor-faktor lain yang mendukung rumusan empiris tersebut. Ada beberapa macam HSS yang dikembangkan antara lain HSS Snyder, HSS Nakayasu, HSS Gama I dan lain-lain. Pengolahan data hidrograf pada aplikasi Simlar Versi 1.1.2011 menggunakan hidrograf satuan dan hidrograf sintestis metode Nakayashu sebagai input untuk mendapatkan data hidrograf banjir.

Hidrograf satuan sintetis Nakayashu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai yang ada di Jepang (Soemarto, 1987). Bentuk HSS Nakayashu diberikan oleh Gambar 3.1, berikut persamaannya :

$$Q_p = \frac{1}{36}\left(\frac{A\,\mathrm{Re}}{0{,}3T_p + T_{0,3}}\right) \qquad 3.3$$

$$T_p = t_g + 0{,}8T_r \qquad 3.4$$

$$T_g = 0{,}4 + 0{,}058\,L \qquad \text{untuk L} > 15\ \text{Km} \qquad 3.5$$

$$T_{0,3} = \alpha\, t_g \qquad 3.6$$

$$T_{0,3} = 0{,}5\,t_g \ \textit{sampai}\ \ t_g \qquad 3.7$$

Dengan :

Qp : debit puncak banjir

A : luas DAS (km^2)

Re : curah hujan efektif

Tp : waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)

$T_{0,3}$: waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)

tg : waktu konsentrasi (jam)

Tr : satuan waktu dari curah hujan (jam)

α : koefisien karakteristik DAS biasanya diambil 2

L : panjang sungai utama (km)

Dari persamaan di atas parameter yang dihasilkan akan membentuk hidrograf satuan dengan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

a. Pada kurva naik (0 < t < TP)

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \qquad 3.8$$

b. Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

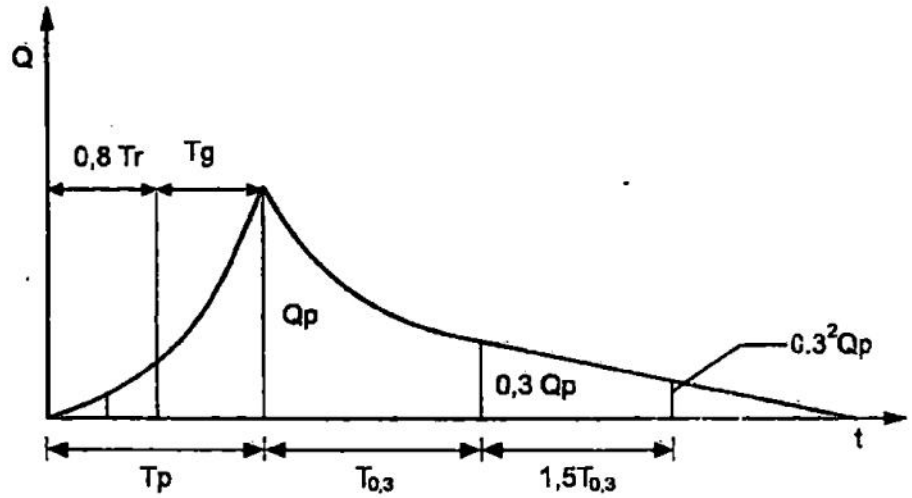
$$Q_r = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}} \qquad 3.9$$

c. Pada kurva turun ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5\ T_{0,3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\left[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})\right]/(1,5T_{0,3})} \qquad 3.10$$

d. Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5\ T_{0,3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\left[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})\right]/(2T_{0,3})} \qquad 3.11$$



Gambar 3.1 Hidrograf satuan sintetis Nakayashu

D. DEM (*Digital Elevasi Model*)

Digital elevasi model adalah salah satu model untuk menggambarkan bentuk topografi permukaan bumi sehingga dapat divisualisasikan ke dalam tampilan 3D. Untuk mendapatkan data DEM ada beberapa metode yang dilakukan, beberapa contohnya yaitu dengan metode.

1) Interferometri SAR (*Synthetic Aperture Radar*)

SAR merupakan salah satu alogaritma pembuatan DEM dengan data citra SAR atau citra radar yang digunakan dalam proses interferometri dapat diperoleh dari wahana satelit atau pesawat.

2) SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*)

SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) merupakan misi untuk membuat data topografi (DEM) dengan menggunakan system radar dari wahana pesawat ulang alik antariksa. Data DEM dari misi ini sudah tersedia untuk seluruh dunia dengan resolusi spasial 90x90 meter, sedangkan untuk resolusi 30x30 hanya tersedia beberapa wilayah saja

3) LIDAR (*Light Detection And Ranging*)

Sistem Lidar merupakan perpaduan antara LRF (*Laser Range Finder*), POS (*Positioning and Orientation System*) yang mengintegrasikan DGPS (*Differential Global Positioning System*), IMU (*Inertial Measurement Unit*) dan *Control Unit.* Lidar mengumpulkan data dari pantulan permukaan pada saat sorotan (*beam*) laser mengenai obyeknya.

Pada penelitian ini data DEM yang diperoleh berupa input data yang bersifat sistem informasi geografis yang diolah untuk mendefinisikan nilai kontur atau topografi pada area sungai yang ditinjau dan keluaran yang dihasilkan yaitu berupa simulasi banjir debris dan rambatannya yang akan disimulasikan dalam 2D.

Penyiapan grid dilakukan dengan menggunakan DEM yang disimpan dengan format ASCII. Format ASCII dapat dibaca dengan perangkat lunak pengolah kata. Bagian pertama dari data adalah baris-baris *header* yang berisi informasi tentang koordinat titik sudut kiri bawah jarak horizontal dan vertikal

antar titik-titik dalam *grid* dan catatan-catatan seperti angka tanda jika tidak ada data.

E. Sedimen dan Sedimentasi

Sungai mengalirkan air bersama sedimen yang terdapat dalam aliran air tersebut. Di bagian hulu kandungan sedimennya tinggi, tetapi sesampainya di bagian hilir terjadilah pengendapan. Setelah endapan-endapan tersebut menjadi lebih tinggi dari dataran sekitarnya, maka alur sungai berpindah mencari dataran yang elevasinya lebih rendah. Alur sungai yang stabil dapat dicapai, apabila dapat diatur kapasitas sedimen yang masuk ke dalam alur sungai seimbang dengan kapasitas yang keluar di muara sungai.

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai dan waduk.

Hasil sedimen (*sediment yield)* adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Hasil sedimen biasanya diperoleh dari pengurangan sedimen terlarut dalam sungai (*suspended sediment*) atau dengan pengukuran langsung di dalam waduk.

Sedimen yang sering kita jumpai di dalam sungai, baik terlarut atau tidak terlarut, adalah merupakan produk dari pelapukan batuan induk yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama perubahan iklim. Hasil pelapukan batuan induk tersebut kita kenal sebagai partikel-partikel tanah. Oleh karena pengaruh tenaga

kinetis air hujan dan aliran air permukaan (untuk kasus di daerah tropis), partikel-partikel tanah tersebut dapat terkelupas dan terangkut ketempat yang lebih rendah untuk kemudian masuk ke dalam sungai dan dikenal sebagai sedimen. Oleh adanya transpor sedimen dari tempat yang lebih tinggi ke daerah hilir dapat menyebabkan pendangkalan waduk, sungai, saluran irigasi, dan terbentuknya tanah-tanah baru di pinggir –pinggir dan di delta-delta sungai. Dengan demikian, proses .sedimentasi dapat memberikan dampak yang menguntungkan dan merugikan. Dikatakan menguntungkan karena pada tingkat tertentu adanya aliran sedimen ke daerah hilir dapat dapat menambah kesuburan tanah serta terbentuknya tanah garapan baru di daerah hilir. Tetapi, pada saat bersamaan aliran sedimen juga dapat menurunkan kualitas perairan dan pendangkalan badan perairan seperti tersebut di atas. Dalam konteks pengelolaan DAS, kegiatan pengelolaan yang dilakukan umumnya bertujuan mengendalikan atau menurunkan laju sedimentasi karena kerugian yang ditimbulkan oleh adanya proses sedimentasi jauh lebih besar dari pada manfaat yang diperoleh.

Menurut ukurannya, sedimen dibedakan menjadi liat, debu, pasir, dan pasir besar (Dunne dan Leopold,1978). Ukuran jenis sedimen ditunjukkan pada Tabel 3.1.

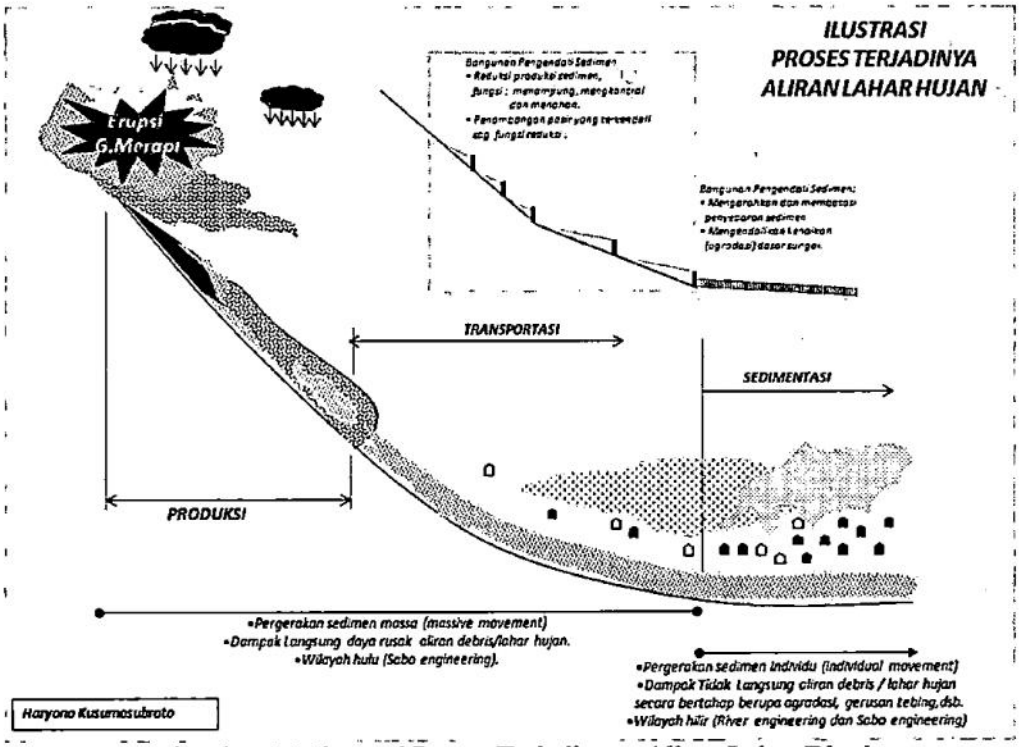
Tabel 3.1 Ukuran jenis sedimen (Dunne dan Leopold)

Deskripsi Ukuran Partikel		Diameter (mm)
Batu Besar	sangat besar	4096
		2896
		2048
	besar	1448
		1024
	menengah	724
		512
	kecil	362
		256
Batu	besar	181
		128
	kecil	90.5
		64
Kerikil	sangat kasar	45.3
		32
	kasar	22.6
		16
	menengah	11.3
		8
	halus	5.66
		4
	sangat halus	2.83
		2
Pasir	sangat kasar	1.41
		1
	kasar	0.707
		0.5
	menengah	0.354
		0.25
	halus	0.117
		0.125
	sangat halus	0.088
		0.063
Lumpur		0.0039

F. Lahar Dingin dan Erosi

Lahar dingin disebut juga lahar hujan, yaitu material vulkanis yang telah terguyur air hujan, baik bersuhu tinggi maupun bersuhu normal. (Sarwidi, 2011). Ketika terjadi erupsi, banyak material vulkanis yang tidak ikut tergelincir dan turun ke bawah, tetapi menumpuk di daerah dekat puncak gunung berapi. Apabila terjadi hujan lebat di daerah puncak, maka bisa menimbulkan ancaman sekunder bagi daerah di sekitar lereng gunung terutama daerah bantaran sungai, yaitu ancaman banjir lahar dingin.

Pergerakan lahar dingin memiliki kemampuan daya erosi yang bervariasi sepanjang perjalanannya. Erosi oleh lahar dapat terjadi pada lereng-lereng yang curam dengan menggerus dasarnya. Erosi paling kuat akan terjadi di sepanjang daerah yang memiliki kemiringan yang curam dengan memiliki lapisan dasar sedimen lepas. Sedangkan pada daerah yang memiliki lapisan dasar batuan kuat atau memiliki kemiringan dasar landai, maka pengaruh erosi terkuat terjadi di bagian yang kondisinya paling lemah.



Gambar 3.2 Ilustrasi Proses Terjadinnya Aliran Lahar Dingin

G. Model simulasi 2D aliran debris

Dalam hal untuk mengestimasi arah aliran debris secara pasti cukup sulit dan kompleks ada beberapa metode untuk melakukannya salah satunya dengan melakukan pemodelan aliran debris dengan model numerik yang diinterpersentasikan hasil keluarannya dengan grafis 2D. Dalam pemodelan aliran debris, ada yang mendekati seperti aliran sedimen dengan adanya sedimen suspensi, sedimen *bedload,* ada yang mendekati dengan satu jenis fluida campuran air, lumpur, pasir dan batu menjadi satu kesatuan, dan ada pula yang memisahkan antara lumpur dan aliran batu-batu.

Pada penelitian yang diusulkan akan digunakan dengan metode yang pertama namun air lumpur diperhitungkan sebagai satu kesatuan fluida. Simulasi aliran debris tersebut didasarkan pada persamaan diferensial parsial yang mengatur aliran debris sebagai berikut.

Persamaan konservasi massa :

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=0 \qquad 3.12$$

Persamaan konservasi momentum dan gaya :

Arah x,

$$\frac{\partial M}{\partial t}+\beta\frac{\partial(uM)}{\partial x}+\beta\frac{\partial(vM)}{\partial y}=-gh\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_T} \qquad 3.13$$

Arah y,

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\beta\frac{\partial(uN)}{\partial x}+\beta\frac{\partial(vN)}{\partial y}=-gh\frac{\partial H}{\partial y}-\frac{\tau_{by}}{\rho_T} \qquad 3.14$$

dengan ,

h : tebal aliran (m);

M : debit aliran debris per unit lebar arah x (m^3/detik);

N : debit aliran debris per unit lebar arah y (m^3/detik);

H : kedalaman aliran (m).

τ : tegangan gesek

ρ_T : rapat masa aliran

Persamaan kekekalan massa pada dasar sungai :

$$c_* \frac{\partial z_b}{\partial t} + \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0 \qquad 3.15$$

Dengan,

c_* : konsentrasi sedimen di dasar sungai;

q_{Bx} : debit sedimen ke arah x;

q_{By} : debit sedimen ke arah y;

$q_{Bx} + q_{By}$: merupakan jumlah sedimen dasar (*bedload*).

Erosi tebing dipertimbangkan dengan persamaan Ashida, Egashira, dan Kamamoto berikut ini.

$$q_p = q_{p*} u_* d \qquad 3.16$$

$$q_{p*} = F_{0*} \tau_*^{1/2} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{\tau_{*sc}}{\tau_*} \right)^3 \left(\frac{h}{d} \frac{1}{\sin\theta} \right) \qquad 3.17$$

$$u_* = \sqrt{ghI} \qquad 3.18$$

$$\tau_* = \frac{u_*^2}{gd\left(\sigma/\rho - 1\right)} \qquad 3.19$$

$$\tau_{*sc} = \tau_{*c} \cos\theta_1 \sqrt{1 - \left(\frac{\tan\theta}{\mu}\right)^2} \qquad 3.20$$

dengan,

q_p : erosi tebing per unit lebar (m^2/detik);

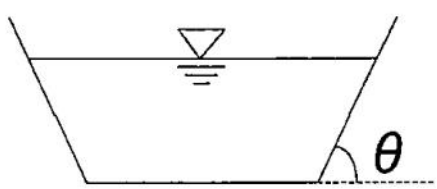
q_{p*} : erosi tebing per unit lebar (tak berdimensi);

u_* : kecepatan geser dasar (m/detik);

I : kemiringan garis energi aliran;

Θ : kemiringan tebing, dihitung seperti pada Gambar 3.2

F_{0*} : koefisien = 0,01.



Gambar 3.3 Kemiringan tebing yang diperhitungkan

Beberapa rumusan debit yang digunakan dalam program simulasi 2D , yaitu

Meyer-Peter & Muler :

$$q_{*b} = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{1,5} \qquad 3.21$$

Ashida, Takahashi & Miyuzama :

$$q_{*b} = 12\tau_*^{1.5}\left(1-0{,}85\left(\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right)^1\right)\left(1-0{,}92\left(\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right)^{0{,}5}\right) \qquad 3.22$$

Brown :

$$q_{*b} = 10(\tau_* - \tau_{*c})^{2{,}5} \qquad 3.23$$

Dengan,

q_{*b} : volume debit per satuan lebar (m^3/detik);

τ_{*c} : nilai rata- rata tegangan gesek kritis;

τ_* : Shields' number. Persamaan-persamaan tersebut di atas didekati denganmetode beda hingga skema *leap-frog* dengan diskretisasi ruang dalam bentuk *staggered grid* dimana posisi-posisi data kedalaman aliran berada di antara posisi-posisi data debit yang telah dikembangkan oleh Yamashita (1999).