

BAB III

LANDASAN TEORI

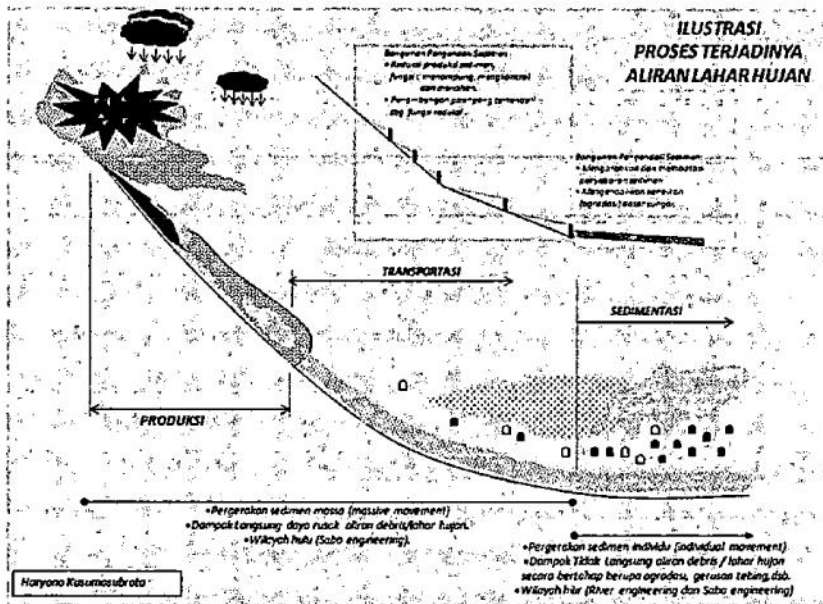
A. Aliran Debris (*Debris Flow*)

Aliran debris adalah aliran dari suatu endapan material lepas dan material bahan rombakan vulkanik yang mudah tererosi oleh air. Karena intensitas hujan yang sangat tinggi maka endapan yang jenuh akan meluncur ke bawah sebagai hasil erosi. Pada kasus ini aliran debris terbentuk karena adanya limpahan material gunung Merapi yang mengeluarkan jutaan m³ material dan mengendap di lereng gunung. Karena pemicunya adalah air hujan, lahar dingin akan menuju dan memasuki alur-alur patus pada lereng gunung api serta menjadi deposit pada dasar alur. Pada proses transportasi selanjutnya material ini akan menimbulkan aliran debris di dalam alur. Aliran dengan kecepatan yang tinggi disebut lahar dingin atau aliran debris (Putro, 2011).

Pergerakan aliran debris atau 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.

Secara garis besar aliran debris dapat diklasifikasikan menjadi aliran debris batu (*stony-type debris flo*) dan aliran debris lumpur (*mud flow*). Aliran debris

batu yaitu aliran debris yang didominasi oleh material sedimen berupa batuan dalam ukuran yang relatif besar. Aliran debris lumpur yaitu aliran debris yang mengandung partikel pasir, kerikil dan batu berukuran besar akan tetapi partikel yang dominan adalah abu vulkanik. Berdasarkan penelitian di Jepang, contoh sedimen lumpur yang diambil di sungai *Nojiri* bagian hilir diperoleh informasi konsentrasi partikel padat berkisar antar 35 % - 72 % dan diameter butiran berkisar 0,3 – 1,0 mm, dimana 10 % - 30 % berdiameter kurang dari 0,1 mm.



Gambar 3.1. Ilustrasi Proses Terjadinya Aliran Lahar Dingin

Sumber: <http://www.rovicky.wordpress.com>

B. 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 :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad 3.1$$

Persamaan konservasi momentum dan gaya :

Arah x,

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_T} \quad 3.2$$

Arah y,

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_T} \quad 3.3$$

dengan ,

h = tebal aliran (m);

M = debit aliran debris per unit lebar arah x (m^2/d);

N = debit aliran debris per unit lebar arah y (m^2/d);

H = kedalaman aliran (m).

τ = tegangan gesek

ρ_T = rapat masa aliran

Persamaan kekekalan massa pada dasar sungai :

$$c \cdot \frac{\partial z_b}{\partial t} + \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0 \quad 3.4$$

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.

$$q_p = q_{p^*} u_* d \quad 3.5$$

$$q_{p^*} = F_0 \tau_*^{1/2} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{\tau_{*sc}}{\tau_*} \right)^3 \left(\frac{h}{d} \frac{1}{\sin \theta} \right) \quad 3.6$$

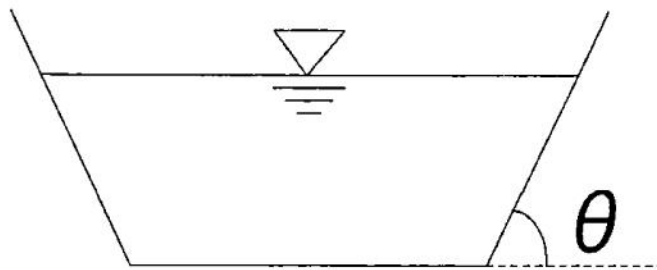
$$u_* = \sqrt{ghI} \quad 3.7$$

$$\tau_* = \frac{u_*^2}{gd\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)} \quad 3.8$$

$$\tau_{*sc} = \tau_{*c} \cos \theta_1 \sqrt{1 - \left(\frac{\tan \theta}{\mu}\right)^2} \quad 3.9$$

dengan,

- q_p : erosi tebing per unit lebar (m^2/d);
- q_{p*} : erosi tebing per unit lebar (tak berdimensi);
- u_* : kecepatan geser dasar (m/d);
- I : kemiringan garis energi aliran;
- Θ : kemiringan tebing, dihitung seperti Gambar 3.2.
- F_{0*} : koefisien = 0,01.



Gambar 3.2 Kemiringan tebing yang diperhitungkan

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

Meyer-Peter & Muler :

$$q_{*b} = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{1,5} \quad 3.10$$

Ashida, Takahashi & Miyuzama :

$$q_{*b} = 12\tau_*^{1,5} \left(1 - 0,85 \left(\frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right)^1 \right) \left(1 - 0,92 \left(\frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right)^{0,5} \right) \quad 3.11$$

Brown:

$$q_{*b} = 10(\tau_* - \tau_{*c})^{2,5} \quad 3.12$$

Dengan,

- q_{*b} : volume debit per satuan lebar (m^3/det);
- τ_{*c} : nilai rata- rata tegangan gesek kritis;
- τ_* : Shields' number.

Persamaan-persamaan tersebut di atas didekati dengan metode 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).

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 horisontal dan vertikal

antar titik-titik dalam *grid* dan catatan-catatan seperti angka tanda jika tidak ada data. Berikut contoh hasil simulasi yang ditunjukkan Gambar 3.3 :



Gambar 3.3 Contoh hasil simulasi 2D aliran debris pada Kali Gendol, Cangkringan, Sleman, DIY (Perdi B., 2013)

C. Poligon Thiessen

Metode Poligon Thiessen sering digunakan pada analisis hidrologi karena metode ini lebih sederhana dibanding dengan metode lainnya. Metode Poligon Thiessen ini dipakai apabila dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar hujan, selain itu poligon Thiessen juga dipakai apabila daerah pengaruh dan curah hujan rata-rata tiap stasiun berbeda-beda. Cara ini memperhitungkan luas daerah yang mewakili dari pos-pos hujan yang bersangkutan, untuk 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.

$$R = \frac{A_1 \cdot R_1 + \dots + A_n \cdot R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad 3.13$$

Dimana :

R = Curah hujan rata – rata

A_n = Luasan

R_n = Curah hujan masing PCH

D. Hidrograf

Hidrograf adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara parameter aliran dan waktu. Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan langsung (*direct run off 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 kapanpun, 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 penelitian ini menggunakan hidrograf satuan

dan hidrograf sintestis metode Nakayasu sebagai input untuk mendapatkan data hidrograf banjir.

Hidrograf satuan sintetis Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai yang ada di Jepang (Soemarto, 1987). Bentuk HSS Nakayasu diberikan oleh Gambar 3.4, berikut persamaannya :

$$Q_p = \frac{1}{36} \left(\frac{A Re}{0,3T_p + T_{0,3}} \right) \quad 3.14$$

$$T_p = t_g + 0,8T_r \quad 3.15$$

$$T_g = 0,21 L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ Km} \quad 3.16$$

$$T_g = 0,4 + 0,058 L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ Km} \quad 3.17$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad 3.18$$

$$T_{0,3} = 0,5t_g \text{ sampai } t_g \quad 3.19$$

Dengan :

Q_p : debit puncak banjir

A : luas DAS (km^2)

Re : curah hujan efektif

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

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

t_g : waktu konsentrasi (jam)

- Tr : satuan waktu dari curah hujan (jam)
- α : koefisien karakteristik DAS biasanya diambil 2
- L : panjang sungai utama (km)

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

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

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2.4} \quad 3.20$$

- b. Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0.3}$)

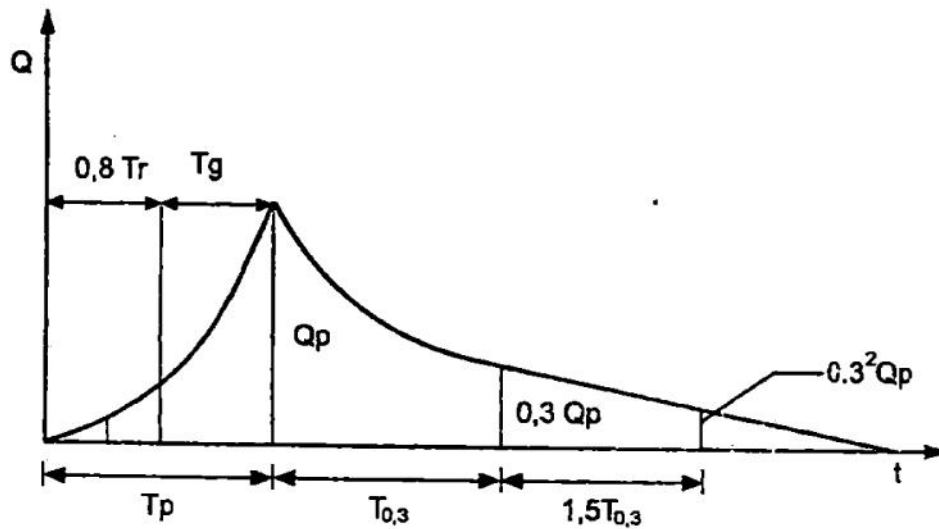
$$Q_r = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/T_{0.3}} \quad 3.21$$

- c. Pada kurva turun ($T_p + T_{0.3} < t < T_p + T_{0.3} + 1,5 T_{0.3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\frac{[(t-T_p)+(1,5T_{0.3})]}{(1,5T_{0.3})}} \quad 3.22$$

- d. Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0.3} + 1,5 T_{0.3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\frac{[(t-T_p)+(1,5T_{0.3})]}{(2T_{0.3})}} \quad 3.23$$



Gambar 3.4 Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

E. 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 algoritma 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.