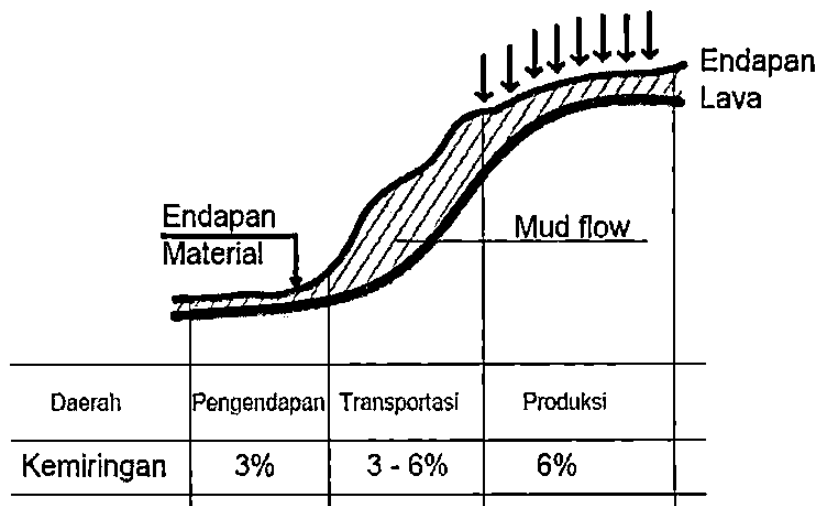


BAB III

LANDASAN TEORI

A. Aliran Debris (*Debris Flow*)

Aliran debris adalah suatu endapan material lepas dan material bahan rombakan volkanik 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 m^3 material dan mengendap di lereng gunung. Karena pemicunya adalah air hujan, lahar dingin akan menuju dan memasuki alur-alur pematang 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). Berikut Skema terbentuknya endapan material aliran debris akibat tererosi hujan :



Gambar 3.1 Skema terbentuknya endapan material aliran debris akibat tererosi hujan

Secara umum aliran debris dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu *stony-type debris flow* dan *mud flow*. *Stony-type debris flow* yaitu aliran debris yang didominasi oleh material sedimen berupa batuan dalam ukuran yang relatif besar. Sedangkan *mud flow* merupakan aliran debris yang didominasi material sedimen berukuran halus. *Mud flow* sendiri dapat digolongkan menjadi *turbulent-muddy-type debris flow* dan *viscous debris flow*. Faktor – Faktor umum yang mempengaruhi aliran debris pada kawasan gunung api adalah kemiringan lereng, jumlah material, faktor topografi, geologi tanah, luas daerah pengaliran sungai dan curah hujan (Kusumabroto, H., 2013).

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 (m²/d);

N : debit aliran debris per unit lebar arah y (m²/d);

H : kedalaman aliran (m).

τ : tegangan gesek

ρ_T : rapat masa aliran

Dengan,

- c_s : 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.

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

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

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

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

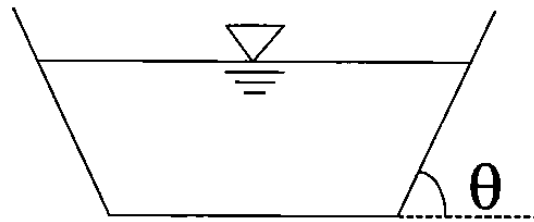
$$3.8 \tau_{*sc} = \tau_{*c} \cos \theta \sqrt{1 - \left(\frac{\tan \theta}{\mu} \right)^2}$$

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;
 □ : kemiringan tebing, dihitung seperti pada 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 (Sutikno, 2012) :

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

Ashida, Takahashi & Miyuzama (Sutikno, 2012) :

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

Brown (Sutikno, 2012) :

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

Dengan,

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

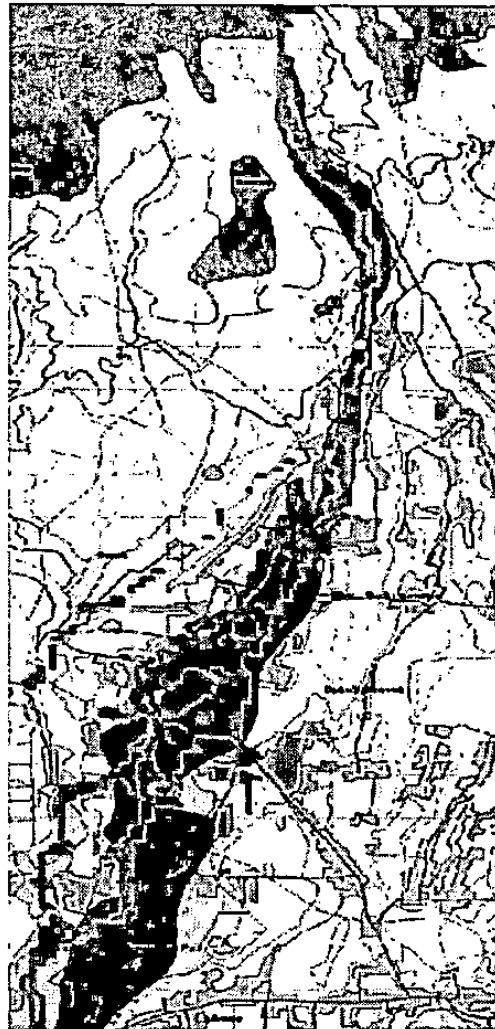
τ_{*c} : nilai rata- rata tegangan gesek kritis;

τ_* : *Shields' number*.

Persamaan-persamaan tersebut di atas didekati dengan metode beda

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.

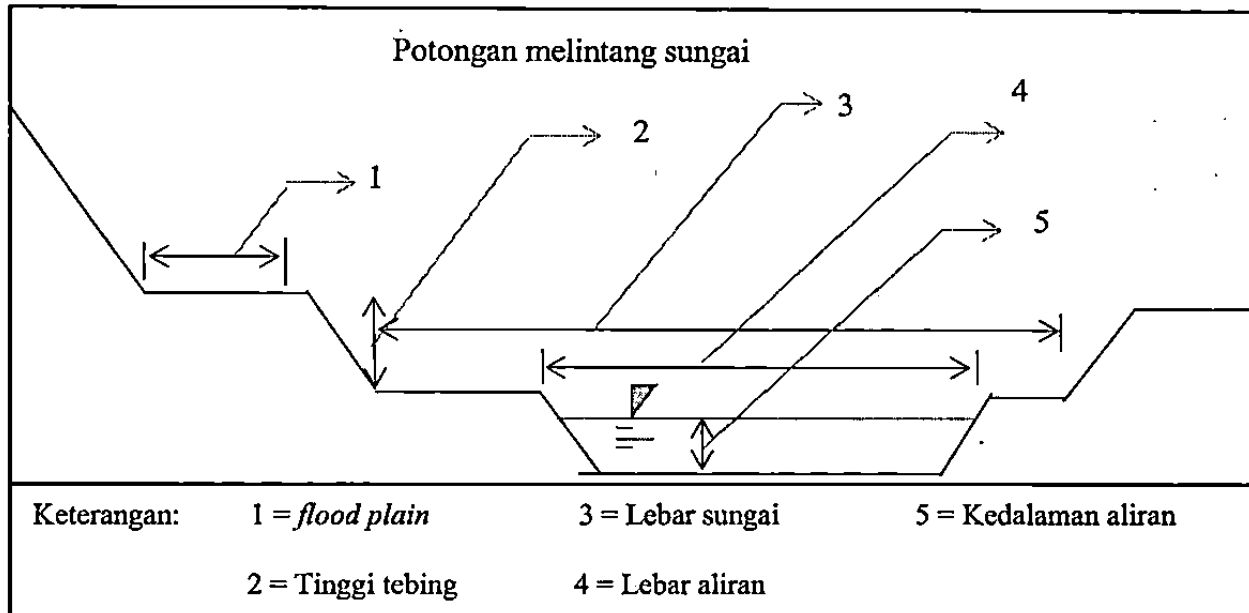


Gambar 3.3 Contoh hasil simulasi 2D aliran debris pada Kali Putih Jember

C. Morfologi Sungai

Morfologi sungai merupakan ilmu yang mempelajari tentang perubahan bentuk sungai, penjelasan lebih spesifik morfologi sungai adalah merupakan hal yang menyangkut tentang geometri (bentuk dan ukuran), jenis, sifat dan perilaku sungai dengan segala aspek perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu. Dengan demikian, sifat dinamik sungai dan lingkungan saling berkaitan.

Dalam menentukan morfologi sungai, diperlukan data-data geometri sungai meliputi lebar sungai, kedalaman, penampang sungai, koordinat lokasi dan kemiringan dasar sungai.

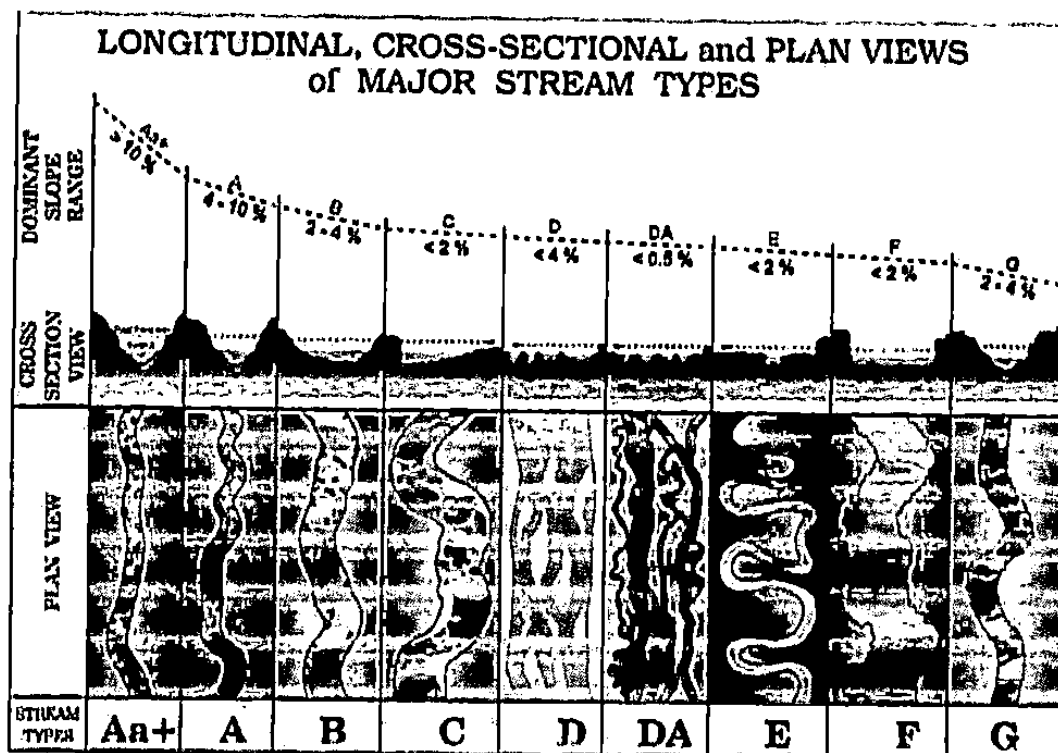


Gambar 3.4 Pengukuran penampang melintang sungai.

1. Tipe-tipe morfologi sungai

Gambaran utama tipe-tipe morfologi sungai menurut Dave Rosgen

(1996) ditunjukkan pada Gambar 3.5 sebagai berikut:



Gambar 3.5 Tipe bentuk morfologi (Rosgen, 1996).

a. Tipe sungai Aa+

Tipe sungai Aa+ memiliki kemiringan yang sangat curam (>10%), saluran berparit yang baik, memiliki rasio lebar/kedalaman (*W/D ratio*) yang rendah dan sepenuhnya dibatasi oleh saluran kecil. Bentuk dasarnya merupakan cekungan luncur atau aliran terjun (super kritis), tipe sungai Aa+ banyak dijumpai pada dataran dengan timbunan agregat, zona pengendapan seperti aliran sungai bersalju, bentuk lahan yang secara struktural dipengaruhi oleh patahan, dan zona pengendapan yang berbatasan dengan tanah residu. Arus sungai umumnya beraliran deras atau terjun(super kritis), tipe sungai Aa+disebut sebagai sistem suplai sedimen disebabkan lereng saluran

b. Tipe sungai kecil A

Tipe sungai A hampir sama dengan tipe sungai Aa+, yang membedakan adalah kemiringan lereng saluran mencapai 4% sampai 10% dan arus sungai umumnya merupakan cekungan dengan air kantung (*scour pool*).

c. Tipe sungai kecil B

Tipe sungai B umumnya terdapat pada tanah dengan kemiringan yang curam dan sedikit miring. Dengan bentukan lahan utama sebagai kolom belerang yang sempit, banyak sungai tipe B adalah hasil dari zona struktural, patahan, sambungan, dan bagian lereng lembah yang terkontrol secara struktural menjadi lembah yang sempit yang membatasi pengembangan dataran banjir. Tipe sungai B mempunyai saluran berparit rasio lebar per kedalaman (*W/D ratio*) (< 2), *sinousitas* saluran rendah dan didominasi oleh saluran deras (super kritis). Morfologi bentuk dasar yang dipengaruhi runtuh dan perbatasan lokal, umumnya menghasilkan air kantung (*scour pool*) dan aliran deras serta tingkat erosi pinggir sungai yang relatif rendah.

d. Tipe sungai kecil C

Tipe sungai C terdapat pada lembah yang relatif sempit sampai lembah yang lebar berasal dari endapan alluvial. Saluran tipe C memiliki dataran banjir yang berkembang dengan baik, kemiringan saluran $< 2\%$ dan morfologi dasar yang mengindikasikan konfigurasi

rasio lebar per kedalaman (W/D ratio) yang umumnya (<12) dan sinusitas $>1,4$. Bentuk morfologi utama dari tipe sungai C adalah saluran dengan relief rendah, kemiringan rendah, sinusitas sedang, saluran berparit rendah, rasio per kedalaman tinggi, serta dataran banjir yang berkembang baik.

e. Tipe sungai kecil D

Tipe sungai D mempunyai konfigurasi yang unik sebagai sistem saluran yang menunjukkan pola berjaln dengan rasio lebar per kedalaman (W/D ratio) yang sangat tinggi (> 40), dan lereng saluran yang umumnya sama dengan lereng lembah. Tingkat erosi yang sangat tinggi dan rasio lebar saluran yang sangat rendah, dengan suplai sedimen yang tidak terbatas. Bentuk saluran merupakan tipe pulau yang bervegetasi. Pola saluran berjaln dapat berkembang pada daerah bermaterial sangat kasar yang terletak pada lembah dengan lereng yang cukup curam, sampai lembah dengan gradien yang rendah, rata, dan sangat bebas yang berisi material yang sangat halus.

f. Tipe Sungai Kecil DA (*Branastomosis*)

Tipe sungai DA (*Branastomosis*) adalah suatu sistem saluran berjaln dengan gradien yang sangat rendah dan lebar aliran setiap saluran bervariasi. Tipe sungai DA merupakan suatu sistem sungai stabil dan memiliki banyak saluran dan rasio lebar per saluran serta sinusitas bervariasi dari sangat rendah sampai sangat tinggi

g. Tipe Sungai E

Tipe sungai E merupakan perkembangan tipe sungai F, yaitu mulai saluran yang lebar, berparit, dan berkelok mengikuti perkembangan daerah banjir dan pemulihan vegetasi dari bekas saluran F. Tipe sungai kecil E agak berparit, yang menunjukkan rasio lebar per kedalaman (*W/D ratio*) tertinggi dari semua tipe sungai. Tipe sungai E adalah suatu cekungan konsisten yang menghasilkan jumlah cekungan dari setiap unit jarak saluran, sistem sungai E umumnya terjadi di lembah aluvial yang mempunyai elevasi rendah.

h. Tipe Sungai F

Tipe sungai F adalah saluran berkelok yang berparit klasik, mempunyai elevasi yang relatif rendah yang berisi batuan yang sangat lapuk atau mudah terkena erosi. Karakteristik sungai F adalah mempunyai rasio lebar per kedalaman saluran (*W/D ratio*) yang sangat tinggi dan bentuk dasar sebagai cekungan sederhana.

i. Tipe sungai G

Tipe sungai G adalah saluran bertingkat, berparit, sempit dan dalam dengan sinusitas tinggi sampai sederhana. Kemiringan saluran umumnya $>0,02$, meskipun saluran dapat mempunyai lereng yang landai dimana sebagai lereng yang dipotong ke bawah. Tipe sungai G mempunyai laju erosi tepi yang sangat besar, suplai sedimen yang tinggi lereng saluran yang sederhana sampai curam, rasio lebar per

kedalaman ($W/Dratio$) yang rendah, beban dasar tinggi dan laju transport sedimen terlarut sangat tinggi.

2. Menentukan morfologi sungai

Langkah - langkah yang digunakan dalam menentukan morfologi sungai menentukan morfologi sungai menurut teori Dave Rosgen (Gambar 3.6). Dalam menentukan morfologi sungai, maka harus diketahui beberapa faktor yang menjadi ciri khas pada sungai tersebut. Data yang diperlukan adalah lebar aliran (W_{bkf}), kedalaman aliran (d_{bkf}), lebar aliran banjir (W_{fpa}), kedalaman maksimum aliran (d_{mbkf}), kemiringan aliran ($slope$), dan material dasar sungai (d_{50}).

a. *Entrenchment Ratio*

Entrenchment Ratio adalah rasio hubungan antara lebar aliran banjir (W_{fpa}) terhadap lebar aliran sungai (W_{bkf}). Untuk studi saat ini tidak menggunakan alat *waterpass*, namun hanya digunakan alat meteran untuk melakukan pengukuran.

Cara perhitungan dalam menentukan *Entrenchment Ratio* adalah sebagai berikut:

$$Entrenchment\ Ratio = \frac{Lebar\ aliran\ banjir(W_{fpa})}{Lebar\ aliran\ sungai(W_{bkf})} \quad 3.13$$

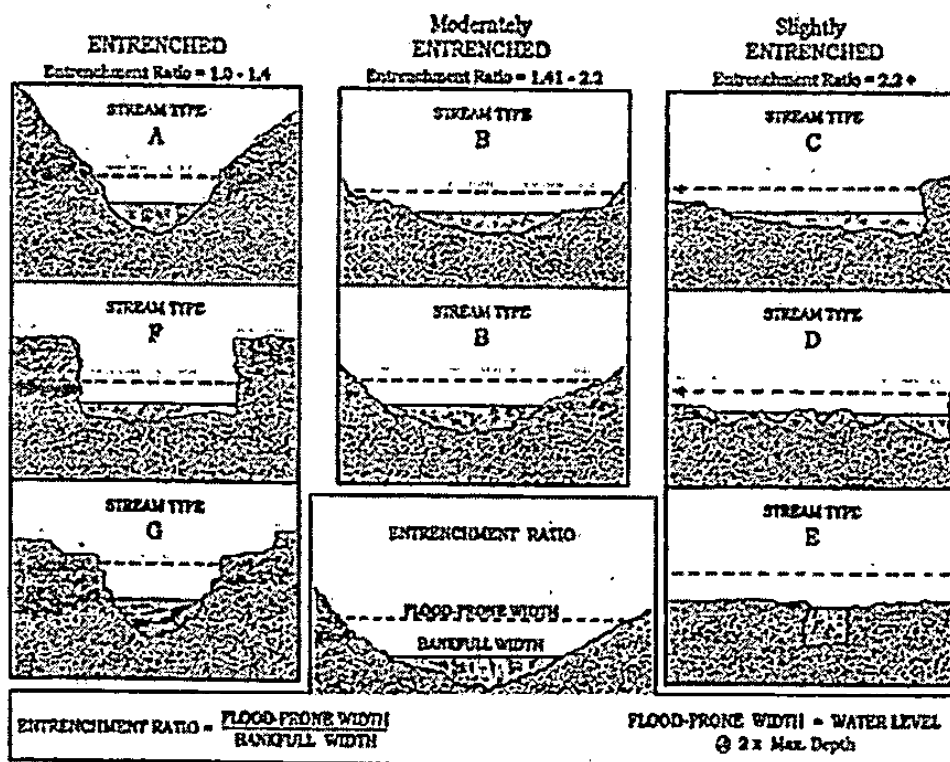
Keterangan :

W_{fpa} = lebar aliran banjir (*flood - prone area width*).

W = lebar aliran sungai (*bankfull surface width*)

Entrenchment Ratio pada sungai dibagi menjadi tiga kriteria, yaitu:

1. Aliran berparit besar 1–1,4 mewakili tipe sungai A, F dan G.
2. Aliran berparit tengah antara 1,4–2,2 mewakili tipe sungai B.
3. Aliran berparit sekitar 2,2 ke atas mewakili tipe sungai C, D, dan E.



Gambar 3.6 *Entrenchment Ratio* mewakili tipe sungai (Rosgen, 1996).

b. *Width/Depth Ratio (W/D Ratio)*

Width/Depth Ratio adalah rasio hubungan antara lebar antara sungai (W_{bkf}) terhadap kedalaman sungai (d_{bkf}). Adapun rumus yang digunakan adalah :

$$\text{Width/Depth Ratio} = \frac{\text{Lebar aliran sungai } (W_{bkf})}{\text{Kedalaman aliran sungai } (d_{bkf})} \quad 3.14$$

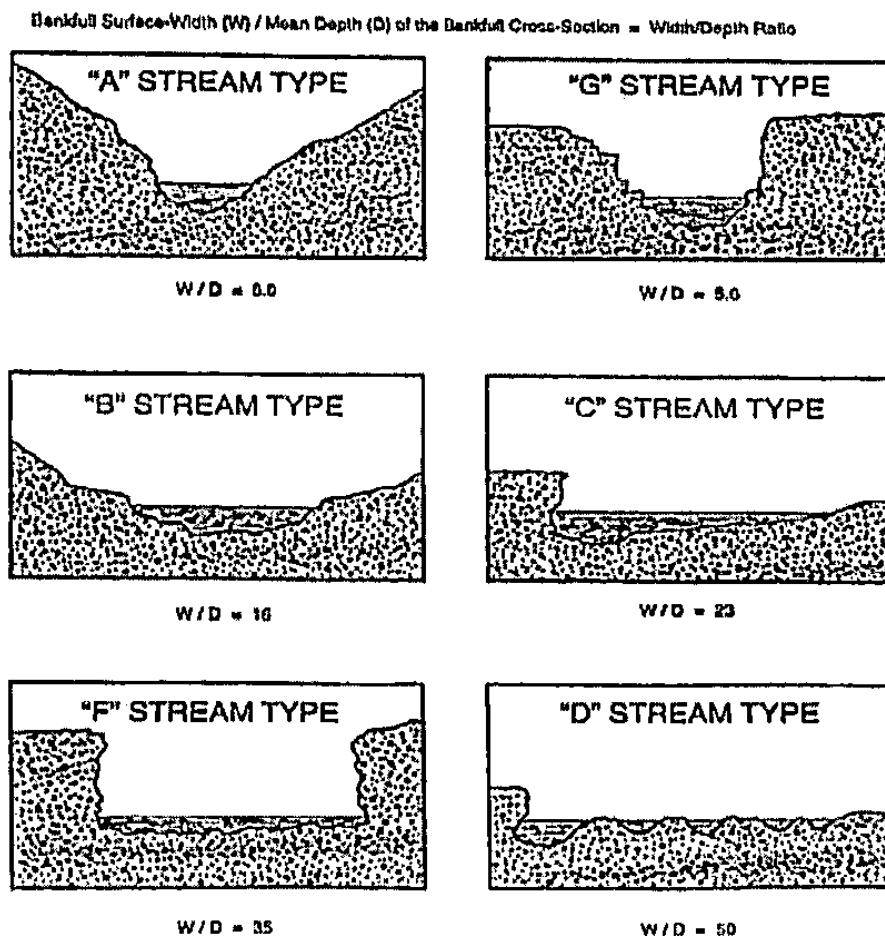
Keterangan :

W_{bkf} = lebar aliran sungai (*bankfull surface width*).

d_{kf} = kedalaman sungai (*bankfull mean depth*).

Width/Depth di sungai dibagi dalam 4 kriteria yaitu :

1. Untuk tipe sungai A, E dan G mewakili *W/D ratio* lebih kecil dari 12.
2. Untuk tipe sungai B, C dan F mewakili *W/D ratio* lebih besar dari 12.
3. Untuk tipe sungai DA mewakili *W/D ratio* lebih kecil dari 40.
4. Untuk tipe sungai D mewakili *W/D ratio* lebih besar dari 40.



c. Kemiringan Alur Sungai (*slope*)

Kemiringan alur sungai merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan tipe sungai. Data elevasi saluran dan panjang saluran didapat dengan menggunakan metode sistem informasi geografi yaitu, dengan menggunakan peta DEM (*Digital Elevation Map*) dari Lidar yang diperoleh dari Balai Sabo Yogyakarta.

Kemiringan alur sungai menurut Rosgen (1996), bentuk sungai secara memanjang dibedakan menjadi tujuh tipe yaitu, tipe A, B, C, D, E, F, dan G. Tipe tersebut akibat pengaruh kemiringan memanjang dan bahan penyusun dasar sungai. Berdasarkan kemiringan dominannya, sungai dapat dibagi menjadi :

1. Sungai dengan kemiringan dominan diatas 10%, umumnya dimiliki oleh sungai bertipe Aa+.
2. Sungai dengan kemiringan dominan antara 4% sampai dengan 10%, umumnya dimiliki oleh sungai bertipe A.
3. Sungai dengan kemiringan dominan antara 2% sampai dengan 4%, umumnya dimiliki oleh sungai bertipe B dan G.
4. Sungai dengan kemiringan dominan lebih kecil dari 4% umumnya dimiliki oleh sungai bertipe D.
5. Sungai dengan kemiringan dominan lebih kecil dari 2% umumnya dimiliki oleh sungai bertipe C, E dan F.
6. Sungai dengan kemiringan dominan lebih kecil dari 0,5% umumnya dimiliki oleh sungai bertipe DA

Berikut ini merupakan rumus untuk menghitung kemiringan sungai:

$$\text{Kemiringan sungai} = \frac{\Delta h}{L} \times 100\% \quad 3.15$$

Keterangan :

Δh = perbedaan elevasi 2 titik yang diamati.

L = jarak antara 2 titik yang diamati.

D. Hidrograf

Hidrograf adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara parameter aliran dan waktu. Hidrograf yang digunakan dalam penelitian adalah hidrograf satuan sintesis metode Nakayasu.

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 sintesis 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 sintesis metode Nakayasu sebagai input untuk mendapatkan

Hidrograf satuan sintetis Nakayashu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai yang ada di Jepang (soemarto, 1987). Bentuk HSS Nakayashu ditunjukkan oleh Gambar 3.8, berikut persamaannya :

$$T_g = 0,4 + 0,058 L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ Km} \quad 3.16$$

$$T_r = 0,75 \times T_g \quad 3.17$$

$$T_p = t_g + 0,8T_r \quad 3.18$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad 3.19$$

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left(\frac{A Re}{0,3T_p + T_{0,3}} \right) \quad 3.20$$

Dengan :

Q_p : debit puncak banjir

A : luas DAS (km²)

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)

T_r : satuan waktu dari curah hujan (jam)

α : koefisien karakteristik DAS biasanya diambil 2

t : ...

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

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

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad 3.21$$

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

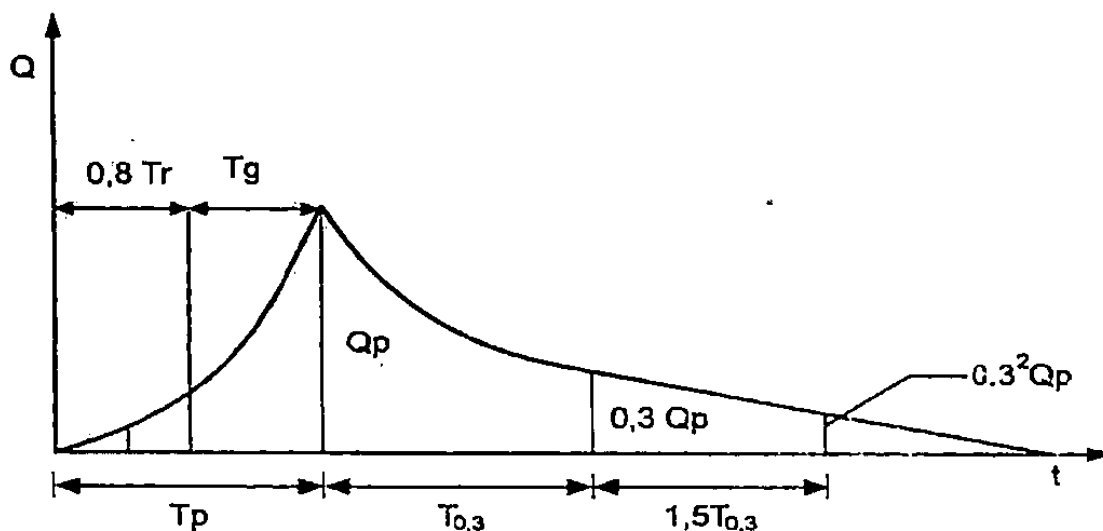
$$Q_r = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}} \quad 3.22$$

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

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

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

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\frac{[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})]}{(2T_{0,3})}} \quad 3.24$$



Gambar 3.8 Hidrograf satuan sintesis 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 meter 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.