

**PERUBAHAN MORFOLOGI SUNGAI AKIBAT BANJIR LAHAR DINGIN PASCA
LETUSAN GUNUNG MERAPI TAHUN 2010¹**

(Studi Kasus : Pada Sungai Putih Magelang, Jawa Tengah)

Deni Hariyanto², Jazaul Ikhsan ST. MT. PhD³, Nursetiawan ST. MT. PhD⁴

Abstrak

Sungai Putih atau yang sering disebut oleh masyarakat sekitar desa Jumoyo sebagai “Kali Putih” itu terletak di Kecamatan Salam, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Berhulu di Gunung Merapi, mengalir menuju ke arah barat daya. Merupakan sungai yang memiliki peran penting dalam mengalirkan atau membawa material letusan Gunung Merapi yang berupa batu, kerikil dan pasir ke bagian sisi sungai yang kemudian menetap sebagai material Kali Putih itu sendiri.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan tipe morfologi sungai, besar angkutan sedimen, besar ukuran diameter material dasar aliran dan Laju degradasi/agradasi yang terjadi di Sungai Putih.

Penelitian ini dilakukan pada Sungai Putih, khususnya pada segmen yang telah diteliti sebelumnya yaitu Jembatan Sirahan (lokasi I), pertemuan Sungai Bongkeng-Putih (lokasi II) dan pertemuan Sungai Progo-Putih (lokasi III). Pengambilan data dilakukan pada tanggal 30 Maret 2017, analisis data yang dilakukan meliputi tipe morfologi sungai berdasarkan teori Rosgen (1996), perhitungan angkutan sedimen (ton/hari) dengan metode Einstein dan analisis laju degradasi/agradasi.

Dari hasil analisis berdasarkan pengukuran data yang diambil pada tanggal 30 maret 2017 diperoleh bahwa tipe morfologi Sungai Putih pada lokasi tinjauan I, II, dan III adalah “ B_{5c}, F_5, B_{5c} ”. Untuk hasil analisis saringan butiran diperoleh besar diameter dasar aliran untuk lokasi tinjauan I, II, dan III adalah “0,81 mm, 0,52 mm, 0,56 mm”, kemudian untuk hasil angkutan sedimen diperoleh besaran yang terjadi pada lokasi tinjauan I, II, dan III adalah “ 0,692 ton/hari, 1,96 ton/hari, dan 0,985 ton/hari” sedang untuk hasil perhitungan laju degradasi/agradasi pada bagian sepanjang dari titik I sampai titik II diperoleh besar degradasi sebesar -0,0716 m/tahun. Sedangkan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Andi Fatimah) pada tahun 2013 diperoleh tipe morfologi Sungai Putih pada lokasi yang sama adalah “ $D_5, E_5, dan D_5$ ”, kemudian untuk besar diameter dasar sungai sebesar “0,88 mm, 0,83 mm, dan 0,85mm” untuk besar angkutan sedimen yang terjadi pada lokasi I, II, dan III adalah “0,0175 ton/hari, 1,17 ton/hari dan 1,011 ton/hari”

Kata kunci : Morfologi Sungai, Angkutan Sedimen, Diameter dasar aliran, Degradasi/agradasi

¹ Disampaikan pada Seminar Tugas Akhir

² Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

³ Dosen Pembimbing I

⁴ Dosen Pembimbing II

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gunung Merapi memiliki karakteristik khas untuk tipe letusannya, yang menghasilkan awan panas atau *wedus gembel* dalam istilah Jawa ataupun *nuée ardente* dalam istilah keilmuan (Voight dkk., 2000). Lebih lanjut lagi, Voight dkk. (2000) menjelaskan bahwa *Nuée ardente* tersebut merupakan bahaya primer yang ditimbulkan akibat letusan Merapi yang terdiri atas unsur gas, bongkah batu dan abu vulkanis yang biasanya didahului oleh aliran lava dan runtuhannya lava. Namun demikian, catatan sejarah telah menunjukkan bahwa seringkali letusan Gunung Merapi terjadi dengan mekanisme yang berbeda, misalnya tahun 1872 dan tahun 2010 yang terjadi secara eksplosif (Voight dkk., 2000 dan Brotopuspito dkk., 2011).

Pasca letusan Gunung Merapi yang disertai oleh hujan yang terus-menerus mengalirkan banjir lahar dingin, dan salah satu sungai yang menjadi alur dari banjir lahar dingin adalah Kali Putih. Kerusakan dari banjir lahar dingin letusan Gunung Merapi tersebut mengakibatkan perubahan pada alur Kali Putih dan ekosistem di sekitarnya. Endapan lahar dingin hasil erupsi Gunung Merapi 2010 dapat merubah morfologi dan angkutan sedimen pada dasar Kali Putih serta kapasitas angkutan sedimen dalam kondisi normal yang terangkut setelah banjir lahar dingin, sehingga perlu dilakukan kajian dan analisis untuk mengetahui morfologi dan angkutan sedimen Kali Putih setelah erupsi Gunung Merapi 2010.

1.2 Tujuan

1. Mengetahui perubahan tipe morfologi di Sungai Putih pada Tahun 2017 pasca erupsi Gunung Merapi Tahun 2010.
2. Mengetahui perubahan diameter material dan besarnya angkutan sedimen (*bed load*) di dasar Sungai Putih pada Tahun 2017 pasca erupsi Gunung Merapi Tahun 2010.
3. Menentukan aggradasi ataupun degradasi yang terjadi di Sungai Putih pada Tahun 2017 pasca erupsi Gunung Merapi Tahun 2010.

1.3 Manfaat

1. Dapat dijadikan sebagai referensi untuk memprediksi perubahan morfologi sungai akibat lahar dingin di Sungai Putih jika terjadi erupsi Gunung Merapi yang akan datang, karena bencana yang tidak diinginkan oleh masyarakat Indonesia sewaktu-waktu akan terjadi kembali.
2. Dapat dimanfaatkan sebagai pengaturan alur sungai.
3. Dapat memberikan informasi tentang aggradasi ataupun degradasi, gradasi butiran, dan besarnya angkutan sedimen dasar di Sungai Putih pasca erupsi Gunung Merapi Tahun 2010.

1.4 Batasan Masalah

1. Analisis perhitungan pada penelitian ini hanya berdasarkan pengambilan data primer di Sungai Putih pada tanggal 30 Maret 2017.
2. Analisis aggradasi/degradasi menggunakan asumsi debit yang diukur saat pengambilan data sebagai data debit yang berlangsung konstan dan dianggap sebagai debit yang terjadi sepanjang tahun.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis Sungai

Berikut ini merupakan tipe-tipe sungai berdasarkan jumlah debit yang terdapat pada alirannya diantaranya:

- a. Sungai perenemial, yaitu sungai yang mempunyai aliran sepanjang tahun. Selama musim kering dimana tidak terjadi hujan, aliran sungai perennial adalah aliran dasar yang berasal dari aliran air tanah. Triatmodjo, bambang (2000:138)
- b. Sungai ephemeral, adalah sungai yang memiliki debit hanya apabila terjadi hujan yang melebihi laju infiltrasi. Permukaan air tanah selalu berada di bawah dasar sungai, sehingga sungai ini tidak menerima aliran air tanah, yang berarti tidak mempunyai aliran dasar. Sungai-sungai di Nusa Tenggara termasuk dalam kelompok sungai ephemeral. Triatmodjo, bambang (2000:139)

- c. Sungai intermitten, ialah sungai yang mempunyai karakteristik campuran Antara kedua tipe di atas. Pada suatu periode waktu tertentu mempunyai sifat sebagai sungai perennial, sedang pada periode yang lain bersifat sebagai sungai ephemeral. Elevasi muka air tanah berubah dengan musim. Pada musim penghujan muka air tanah naik sampai diatas dasar sungai, sehingga pada saat tidak ada hujan masih terdapat aliran yang berasal dari aliran dasar. Pada musim kemarau muka air tanah turun sampai dibawah dasar sungai sehingga di sungai tidak ada aliran. Triatmodjo, bambang (2000:139)

2.2 Sedimen

Proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi (angkutan), pengendapan (*deposition*), dan pemadatan (*compaction*) dari sedimentasi itu sendiri. Proses tersebut sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energy kinetic yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersamaan aliran, sebagian akan tertinggal diatas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen. Untuk ukuran dan beratnya partikel tanah tersebut akan menentukan jumlah besarnya angkutan sedimen.

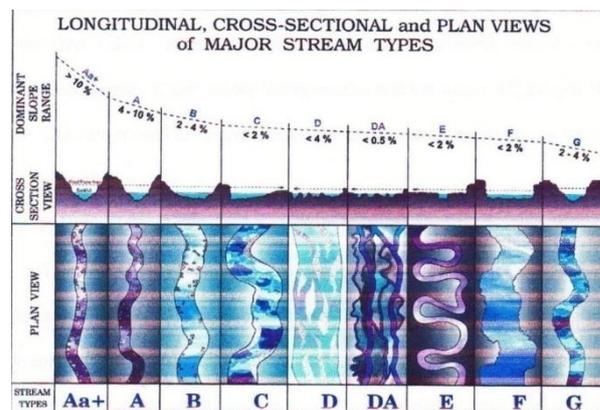
III. LANDASAN TEORI

3.1 Morfologi Sungai

Morfologi sungai adalah ilmu yang mempelajari tentang bentuk, ukuran, jenis, sifat serta perilaku sungai dengan segala faktor perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu. Dengan demikian maka morfologi sungai juga menyangkut sifat dinamik sungai dan lingkungannya yang saling berkaitan. (<http://www.scrib.com/doc/67066505/Bahan-Ajar-Morfologi-Sungai>)

1. Tipe Morfologi Sungai

Menurut Rosgen (1996), tipe-tipe morfologi sungai yang ditentukan pada gambar 3.1 adalah sebagai berikut :



Gambar 1 Tipe Bentuk Morfologi

- Tipe Sungai Kecil "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 dasar pada umumnya merupakan cekungan lurus dan aliran terjun.
- Tipe sungai kecil "A" hampir sama dengan tipe sungai kecil "Aa+" yang telah dijelaskan dalam pengertian bentuk lahan dan karakteristik saluran. Perbedaannya adalah bahwa lereng saluran berksar Antara 4% sampai 10%.
- Tipe Sungai kecil "B"
Tipe sungai kecil B umumnya pada tanah dengan kemiringan curam dan sedikit miring, dengan bentuk lahan utama sebagai kolam belerang yang sempit.
- Tipe Sungai kecil "C"
Tipe sungai kecil C terdapat pada lebah yang relative sempit sampai lembah lebar yang berasal dari endapan alluvial.
- Tipe Sungai Kecil "D"
Tipe sungai kecil D mempunyai konfigurasi yang unik sebagai system saluran yang menunjukkan pola berjaln, dengan ratio lebar per kedalaman sungai yang sangat tinggi (>40) dan lereng saluran umumnya sama dengan lereng lembah.
- Tipe Sungai Kecil "DA"
Tipe sungai kecil DA atau bernastomosis adalh suatu system saluran yang berjaln dengan gradient sungai sangat rendah dan lebar aliran dari tiap saluran bervariasi.

- g. Tipe Sungai Kecil “E”
Tipe sungai kecil E merupakan perkembangan dari tipe sungai kecil F, yaitu mulai saluran yang lebar, berparit dan berkelok, mengikuti perkembangan daratan banjir dan pemulihan vegetasi dari bekas saluran F.
- h. Tipe Sungai Kecil “F”
Tipe sungai kecil F adalah saluran berkelok yang berparit klasik, mempunyai elevasi yang relative rendah yang berisi batuan yang sangat lapuk atau material yang mudah terkena erosi.
- i. Tipe Sungai Kecil “G”
Tipe sungai kecil G adalah saluran bertingkat, berparit, sempit dan dalam dengan sinusitis tinggi sampai sederhana.

2. Langkah-langkah Menentukan Morfologi Sungai

Dalam menentukan morfologi sungai maka harus diketahui beberapa factor yang menjadi cirikhas pada sungai tersebut. Data yang diperlukan adalah lebar aliran (W_{bkf}), kedalaman aliran (d_{bkf}), Lebar alian banjir (W_{fpa}), kedalaman maksimum aliran (d_{mbkf}), sinusitis, kemiringan aliran (*slope*), material dasar sungai (D_{50}). Skema alur penggambaran morfologi ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut adalah langkah-langkah yang digunakan dalam menentukan morfologi sungai menurut teori (Rosgen, 1996):



Gambar 2 Skema alur penggambaran morfologi (Rosgen, 1996)

3.2. Hidrometri

1. Kecepatan Aliran

Cara menghitung kecepatan aliran sungai:

$$V = \frac{L}{T} \dots\dots\dots(Persamaan 1)$$

Dengan:

V =Kecepatan rata-rata (m/detik)

L =Jarak (m)

T =Waktu (detik)

2. Debit

Cara menghitung debit sungai yaitu:

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots(Persamaan2)$$

Dengan:

Q =Debit sungai (m³/detik)

A =Luas penampang sungai (m²)

V =Kecepatan rata-rata (m/detik)

3. Dimensi Sungai

Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan dimensi sungai diantaranya lebar aliram, lebar banjiran, lebar bantaran, kedalaman aliran.

3.3 Klasifikasi Ukuran Butiran

Tanah mempunyai bermacam-macam bentuk dan ukuran. Untuk mengelompokan tanah berdasarkan ukuran dan bentuknya maka dilakukan analisis gradasi butiran. Analisis butiran merupakan dasar tes laboratorium untuk mengidentifikasi tanah dalam system klasifikasi teknik. Sedangkan analisa saringan agregat adalah penentuan presentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian presentase digambarkan dalam grafik pembagian butir. (SNI 03-1968-1990 Tentang Metode Analisis Agregat Halus dan Kasar).

3.4 Angkutan Sedimen

Angkutan sedimen atau *transport sediment* merupakan suatu peristiwa terangkutnya material oleh aliran sungai. Sungai-sungai membawa sedimen dalam setiap alirannya. Bentuk, ukuran dan beratnya partikel material tersebut akan menentukan jumlah besaran angkutan sedimen. Angkutan sedimen dalam penelitian ini adalah angkutan sedimen dasar (*bed load*) dan diperoleh dengan menggunakan persamaan Einstein (1950). Langkah untuk dapat menghitung angkutan sedimen dasar perlu menentukan ukuran butiran d35 dan d65, mengetahui gradasi

ukuran butiran hasil analisis saringan dapat dilihat di Tabel berikut:

Tabel 1 Contoh gradasi ukuran butiran hasil analisis saringan

Interval ukuran butiran (mm)	Ukuran butiran rata-rata (mm)	% Material
19,1-4,75	11,517	18%
2,35-0,425	1,138	58%
0,3-0,075	0,1755	24%

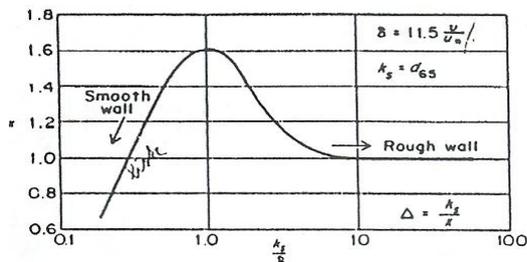
Kemudian dihitung angkutan sedimen dasar menggunakan persamaan Einstein dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Kecepatan Gesek Akibat Kekasaran Butiran
 $U' = \sqrt{g \cdot Rb' \cdot S}$ (Pers. 3)

2. Tebal lapisan kekentalan
 $\delta' = \frac{11,6 \cdot \nu}{U'}$ (Pers. 4)

$$\frac{ks}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'}$$

Kemudian didapat nilai factor x dari grafik berikut.

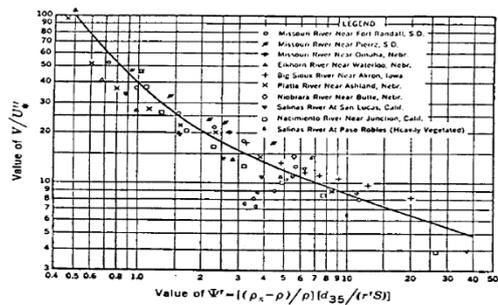


Gambar 3 Grafik nilai factor x

3. Kecepatan aliran rata-rata
 $V = 5,75 \cdot \nu \cdot \log(12,27 \frac{Rb' \cdot x}{ks})$ (Pers.5)

4. Intensitas aliran
 $\Psi = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_{35}}{S \cdot Rb'} = 1,65 \frac{d_{35}}{S \cdot Rb'}$ (Pers.6)

Kemudian mencari nilai perbandingan nilai Ψ dengan $\frac{V}{U'}$ dengan Grafik Einstein, (1952). Berikut ini.



Gambar 4 grafik hubungan Ψ dengan $\frac{V}{U'}$

5. Jari-jari hidraulik akibat konfigurasi dasar
 $\frac{V}{U'} = \rightarrow U$

$$R_b'' = \frac{(U')^2}{gS}$$
(Pers.7)

$$R_b = R_b' + R_b''$$
(Pers.7a)

$$R_b = \frac{A}{P} \rightarrow h$$

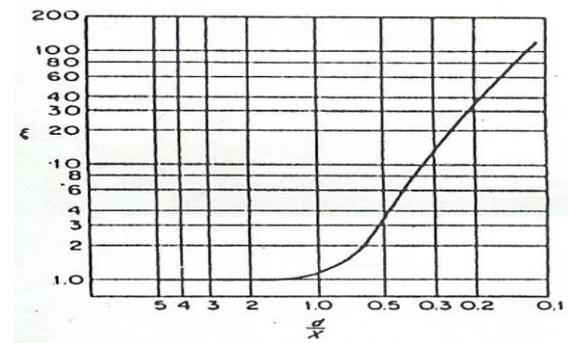
6. Kontrol hitungan debit

$$Q = AV = (B h U')$$
(Pers.8)

7. Intensitas aliran dengan nilai Rb'' yang benar

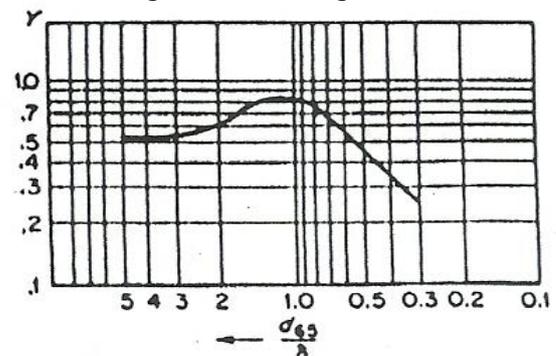
$$\Psi' = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} = \frac{d}{S \cdot Rb''}$$
(Pers.9)

Dengan besaran ukuran fraksi yang diteliti didapat nilai hiding factor dari grafik nilai hiding factor berikut ini.



Gambar 5 Grafik nilai hiding factor

Kemudian dari hasil $\frac{d_{65}}{x}$, diperoleh nilai koreksi angkat "Y" dari grafik berikut ini.



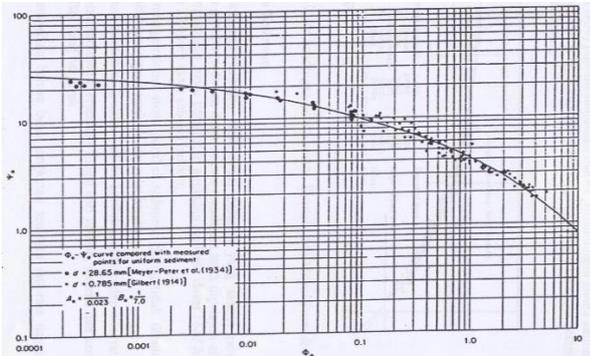
Gambar 6 grafik nilai gaya angkat

Intensitas aliran yang telah dikoreksi dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$\left[\frac{\beta}{\beta_s} \right]^2 = \left[\frac{\log(10,6)}{\log(10,6 \frac{x}{d})} \right]^2 \dots \dots \dots \text{(Pers.10)}$$

$$\Psi_{,i}' = \xi Y \left[\frac{\beta}{\beta_s} \right]^2 \psi, \dots \dots \dots \text{(Pers.11)}$$

Kemudian dari nilai intensitas yang telah dikoreksi diperoleh nilai θ dari grafik dibawah ini.



Gambar 7 grafik nilai θ

Besar angkutan sedimen suspense untuk fraksi butiran berukuran “d”

$$(i_b q_b) = i_b \theta \cdot \gamma_s (g d)^{3/2} (\psi)^{1/2} \dots \dots \dots \text{(Pers.12)}$$

Perhitungan selengkapnya untuk fraksi butiran lainnya dihitung dengan persamaan yang sama kemudian ditampilkan dalam table berikut ini.

Nilai total angkutan sedimen pada penampang sungai yang ditinjau dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$q_B = (\sum i_b q_b) \times 60 \text{detik} \times 60 \text{menit} \times 24 \text{jam} \times B$$

dengan:
 q_B = Jumlah angkutan sedimen dasar sungai per hari (ton/hari)

$(\sum i_b q_b)$ = Besar angkutan sedimen setiap fraksi

B = Lebar saluran/sungai

60 detik = Per menit

60 menit = Per jam

24 jam = Per hari

3.5 Agradasi/Degradasi

Dalam sebuah aliran sungai tentu saja ada sedimen yang mengalir bersama dengan aliran air sungai tersebut. Hal inilah yang akan memicu adanya agradasi ataupun degradasi. Degradasi sendiri adalah proses yang terjadi akibat suplai sedimen kecil dan debit aliran sungai yang besar maka akan terjadi degradasi, sedangkan agradasi adalah proses yang terjadi akibat suplai sedimen yang besar namun debit

aliran sungai kecil. Agradasi/degradasi dapat diselesaikan dengan persamaan berikut:

$$\Delta Q = Q_{in} - Q_{out} \dots \dots \dots \text{(Pers.13)}$$

Dengan:

Q_{in} = Debit yang mengalir di titik tinjauan 1

Q_{out} = Debit yang mengalir di titik tinjauan 2

Kemudian mencari nilai agradasi/degradasi:

$$h = \frac{\Delta Q}{A}$$

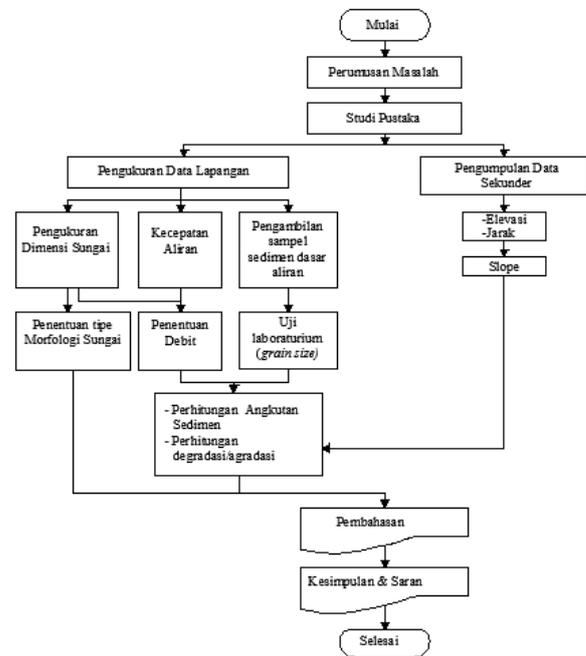
Dengan :

h = Tinggi agradasi/degradasi.

A = Luas permukaan sungai.

IV METODE PENELITIAN

4.1 Bagan Alir Penelitian



Gambar 8 Bagan alir

V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pembahasan

Dari hasil analisis perhitungan diketahui tipe Morfologi Kali Putih pada tahun 2017 pada lokasi I terhadap penelitian tahun 2013 di Tampilkan dalam Tabel berikut ini.

Tabel 2 Perbandingan tipe morfologi tahun 2017 dan 2013

Titik	Tipe morfologi tahun 2017	Tipe morfologi tahun 2013
I	B _{Sc}	D _s

Sumber ; Hasil penelitian 2017

Kemudian untuk hasil besar diameter dasar aliran sungai Putih pada tahun 2017 di lokasi I terhadap hasil penelitian tahun 2013, di sajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 3 Perbandingan besar D₅₀ tahun 2017 dan 2013

Titik	Besar D ₅₀ (mm)	Besar D ₅₀ (mm)
I	0,81	0,88

Sumber ; Hasil penelitian 2017

Untuk hasil perhitungan analisis angkutan sedimen di lokasi I pada tahun 2017 terhadap penelitian pada tahun 2013, di sajikan daam tabel di bawah ini

Tabel 4 Perbandingan nilai angkutan sedimen pada tahun 2017 dengan 2013

Titik	Angkutan sedimen 2017 (ton/hari)	Angkutan Sedimen 2013 (ton/hari)
I	0,692	0,0175

Sumber ; Hasil penelitian 2017

VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tipe morfologi sungai Putih pada tahun 2017 terhadap penelitian pada tahun 2013 di tampilkan dalam Tabel di bawah ini.

Tabel 5 Perbandingan tipe morfologi tahun 2017 dan 2013

Titik	Tipe morfologi tahun 2017	Tipe morfologi tahun 2013
I	B ₅	D ₅
II	F ₅	E ₅
III	B _{5c}	D ₅

Sumber ; Hasil penelitian 2017

2. Dari hasil analisis ukuran butiran didapatkan nilai besaran angkutan sedimen yang terjadi di titik tinjauan, yang kemudian di dibandingkan dengan hasil penelitian pada tahun 2013 di sajikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 6 Perbandingan besar angkutan sedimen pada tahun 2017 dan 2013

Titik	Angkutan sedimen tahun 2017 (ton/hari)	Angkutan sedimen tahun 2013 (ton/hari)
I	0,692	0,0175
II	1,96	1,177
III	0,985	1,011

Sumber ; Hasil penelitian 2017

3. Dari hasil analisis perhitungan degradasi/agradasi sepanjang titik tinjauan I sampai titik tinjauan II didapatkan nilai degradasi sebesar - 0,0716 m/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

Buku / Jurnal

Aisyah, Nur dan Dwi indah P (2012). *Tinjauan Dampak Banjir Lahar Dingin Kali Putih Kabupaten Magelang Pasca Erupsi Merapi 2010*. Jurnal Teknologi Technoscientia.

Asriningrum, Wikanti dkk (2004). *Pengembangan Metode Zonasi Daerah Bahaya Letusan Gunung Api Studi Kasus Gunung Merapi*. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital Vol.1, No 1 Juni 2004:66-75

Fatimah, Andi (2013). *Tinjauan Morfologi Porositas dan Angkutan Sedimen Permukaan Dasar Sungai Putih Pasca Erupsi Merapi Tahun 2010*, Tugas Akhir Program S1 Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Ikhsan, J. (2010). *Study on Integrated Sediment Management in an Active Volcanic Basin*.

Marfai, Aris M. (2011). *Perubahan Morfologi Sungai Code Akibat Aliran Lahar Pasca Erupsi Gunung Merapi Tahun 2010*. Riset Geologi dan Pertambangan vol.22 No 2, Juni 2012

Marfai, Aris M.dkk (2012). *Sejarah Letusan Gunung Merapi Berdasarkan Fasies Gunung Api Di Daerah Aliran Sungai Bedog, Daerah Istimewa Yogyakarta*.

Muntohar, A. S. (2006). *Mekanika Tanah*.

Maryono, A. (2003). *Pembangunan Sungai, Dampak, Dan Restorasi Sungai*, Megister Sistem Teknik Program

Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Nur, Kumalawati Indreswari (2012). *Tinjauan Morfologi Porositas dan Angkutan Sedimen Permukaan Dasar Sungai Pabelan Pasca Erupsi Merapi Tahun 2010*, Tugas Akhir Program S1 Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Nur, Robby (2015). *Tinjauan Penambangan Pasir di Sungai Progo Terhadap Laju Degradasi Agradasi Elevasi Dasar Sungai Pasca Erupsi Gunung Merapi Tahun 2010*, Tugas Akhir Program S1 Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Rosgen, D. (1996). *Applied River Morphology, Widland Hydrology*, Pagosa Springs, Colorado.

Simsons, B. Daryl dan Fuat Senturk. 1992. *Sediment Transport Technology Water and Sedimen Dynamics*. BookCrafters Inc. Colorado USA.

SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar.

Sulaiman, M. (2008). *Study on porosity of sediment mixtures and a Bed-porosity Variation model*.

Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta

Soewarno. (1991). *Pengukuran Dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*

Winditiatama, S. (2011). *Karakteristik Sungai Pabelan Bagian Hilir Pasca Erupsi Merapi 2010*, Tugas Akhir Program Diploma Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Nur, Robby (2015). *Tinjauan Penambangan Pasir di Sungai Progo Terhadap Laju Degradasi Agradasi Elevasi Dasar*

Sungai Pasca Erupsi Gunung Merapi Tahun 2010, Tugas Akhir Program S1 Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Website

Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia Bebas. *Sungai*. diunduh pada 5 Maret 2017 jam 10.00 dari <http://id.m.wikipedia.org/wiki/Sungai>

Kompas.Com. *Kali Putih Dari Sana Semuanya Bermula*. Diunduh pada 5 Maret 2017 jam 10.15 dari Regional.kompas.com/read/2011/01/29/04325245/kali.Putih.Dari.Sana.Semuanya.Bermula

[Scribd.com](http://www.scribd.com). Bahan Ajar Morfologi Sungai, diunduh pada 7 Maret 2017 jam 14.09 dari <http://www.scribd.com/doc/67066505/Bahan-Ajar-Morfologi-Sungai>.