

KAJIAN SEDIMEN TRANSPOR DAN PERUBAHAN MORFOLOGI SUNGAI OPAK PASCA ERUPSI GUNUNGAPI MERAPI TAHUN 2010

Rona Mentari Kusuma
ronamentari39@yahoo.com

Dr. Danang Sri Hadmoko, M.Sc.
hadmoko@yahoo.com

Abstract

Morphological component of river can change by presence of sediment source and influence on aggradation and degradation of base flow. Objectives of this research were : explaining the spread of bed load material on Opak River at some partial elevation, analyzing suspended sediment concentration transported at both flooding and normal flow condition, and determining morphological changes with appeal condition before and after 2010 Merapi Volcano eruption.

Result of this study examined disavowal with hypothesis that in higher elevation would bigger in material size. In that case, the existence of Sabo DAM along Opak River had possessed bed load material spreading. Suspended sediment rating curve at normal flow at three observation area as follow : $C_s=1,012 (Q)^{0,034}$, $C_s=1,033 (Q)^{0,023}$, $C_s=1,043(Q)^{0,00357}$. At flood condition, daily sediment discharge rate was 111,4 ton/day for flooding in January, and as much as 1800,46 ton/day for flooding in February. Result equivalent of river cross section year 2000 and 2013 in Ngablak Village showed some changes although they were not significant. That changes were degradation at right side of channel, and aggradation at left side and middle of channel. Efforts necessary to be done in Opak River management are : monitoring river stream condition periodically and taking some material along the stream in order to flowing water unavoidably through the stream.

Keywords : transport sediment, Merapi Volcano, Opak River, sediment rating curve

Intisari

Komponen morfologi sungai dapat berubah oleh ketersediaan pasokan sedimen yang mempengaruhi terjadinya proses aggradasi andan degradasi dasar sungai. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui persebaran material dasar pada aliran Sungai Opak di beberapa titik ketinggian, menganalisa konsentrasi sedimen suspensi yang terangkut pada kondisi debit aliran tinggi (keadaan banjir) dan pada kondisi aliran normal, dan mengkaji perubahan morfologi Sungai Opak kondisi sebelum terjadi erupsi Gunungapi Merapi tahun 2010 dan sesudahnya.

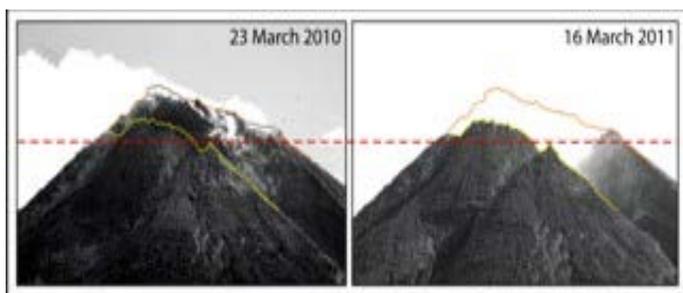
Hasil penelitian ini menunjukkan ketidakcocokan dengan hipotesis bahwa semakin tinggi tempat maka ukuran batuanannya lebih besar, hal tersebut disebabkan oleh keberadaan sabo DAM di sepanjang aliran Sungai Opak yang turut mempengaruhi persebaran material dasar sungai. Persamaan lengkung sedimen saat aliran normal pada 3 lokasi pengamatan yaitu : $C_s=1,012 (Q)^{0,034}$, $C_s=1,033 (Q)^{0,023}$, $C_s=1,043(Q)^{0,00357}$. Pada kejadian banjir, debit sedimen rerata harian 111,44 ton/hari pada kejadian banjir bulan Januari, dan 1800,46 ton/hari pada kejadian banjir Bulan Februari. Perbandingan hasil pengukuran morfologi penampang sungai tahun 2000 dengan 2013 di Dusun Ngablak menunjukkan adanya perubahan meskipun tidak signifikan, yaitu degradasi dasar sungai di alur sebelah kanan, dan aggradasi dasar sungai pada alur tengah dan kiri sungai. Usaha pengelolaan Sungai Opak adalah dengan pemantauan berkala pada kondisi aliran sungai dan normalisasi sungai dengan pengambilan material sepanjang alur sungai agar tidak menghalangi jalannya aliran air.

Kata kunci : sedimen transpor, Gunungapi Merapi, Sungai Opak, kurva lengkung sedimen.

PENDAHULUAN

Sungai merupakan jalur aliran air diatas permukaan bumi yang disamping mengalirkan air juga mengangkut sedimen. Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap dibagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai, dan waduk (Asdak, 2007).

Sungai Opak secara geografis terletak pada lereng bagian selatan Gunungapi Merapi. Gunungapi Merapi (2965 m) yang terletak di Jawa Tengah, merupakan salah satu gunungapi teraktif di dunia dengan rata – rata kala ulang 2 hingga 4 tahun untuk terjadi aktivitas erupsi. Erupsi merupakan fenomena dimana kubah lava Gunungapi Merapi runtuh menghasilkan aliran piroklastik (Lavigne, 2004). Perbedaan kondisi kubah Merapi sebelum dan pasca erupsi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbedaan kubah Gunungapi Merapi sebelum dan sesudah erupsi, sebagian dari kubah gugur karena erupsi eksplosiv (BPPTK, 2010-2011)

Kestabilan dasar alur Sungai Opak dipengaruhi oleh material gunungapi berupa batuan, pasir, dan lumpur yang dipasok dari Gunungapi Merapi. Material piroklastik yang turun dalam bentuk aliran (*flow*) diestimasi masih dapat berlangsung hingga empat musim penghujan setelah erupsi tahun 2010 mengingat masih banyak volume material yang tertimbun diatas (Helmy, 2011).

Proses transpor sedimen yang terjadi yakni dimulai dengan tenaga air hujan melepaskan partikel batuan atau agregat tanah akan menghasilkan butiran - butiran lepas. Butiran – butiran tersebut sebagian terangkut

oleh aliran permukaan bebas. Dalam perjalanannya, aliran tersebut melakukan pengikisan terhadap permukaan tanah yang dilalui, sehingga jumlah muatan sedimen yang diangkut bertambah. Muatan sedimen yang terangkut oleh aliran permukaan bebas sebagian akan masuk ke alur – alur sungai dan akhirnya diendapkan pada tempat yang alirannya sudah tidak mampu mengangkut muatan sedimen tersebut. Berkurangnya daya angkutan tersebut disebabkan karena berkurangnya gradien sungai, adanya belokan alur sungai, bertambahnya material yang diangkut, dan adanya dam – dam sepanjang alur sungai (Siamsuhardi, 1984).

Aspek morfologi sungai termasuk di dalamnya adalah geometri (bentuk dan ukuran), jenis, sifat dan perilaku sungai dengan segala aspek dan perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu. Morfologi sungai akan mengalami perkembangan baik secara memanjang ataupun melintang. Suatu aktivitas atau kejadian di wilayah sungai akan menyebabkan perubahan baik fisik maupun biotik dengan waktu yang lebih cepat dari perubahan secara alamiah, Proses sedimentasi dapat memberikan dampak yang menguntungkan dan merugikan. Dikatakan menguntungkan karena pada tingkat tertentu adanya aliran sedimen ke arah hilir 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. Dalam konteks pengelolaan DAS, kegiatan pengelolaan yang dilakukan umumnya bertujuan mengendalikan laju sedimentasi karena kerugian yang ditimbulkan oleh adanya proses sedimentasi jauh lebih besar dibandingkan manfaat yang diperoleh (Asdak, 2007).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa konsentrasi sedimen suspensi yang terangkut pada kondisi debit aliran tinggi (keadaan banjir) dan pada kondisi aliran normal, mengetahui persebaran ukuran material sedimen muatan dasar pada aliran Sungai Opak di beberapa titik ketinggian, serta mengkaji perubahan morfologi Sungai Opak kondisi sebelum dan sesudah terjadi erupsi Gunungapi Merapi tahun 2010.

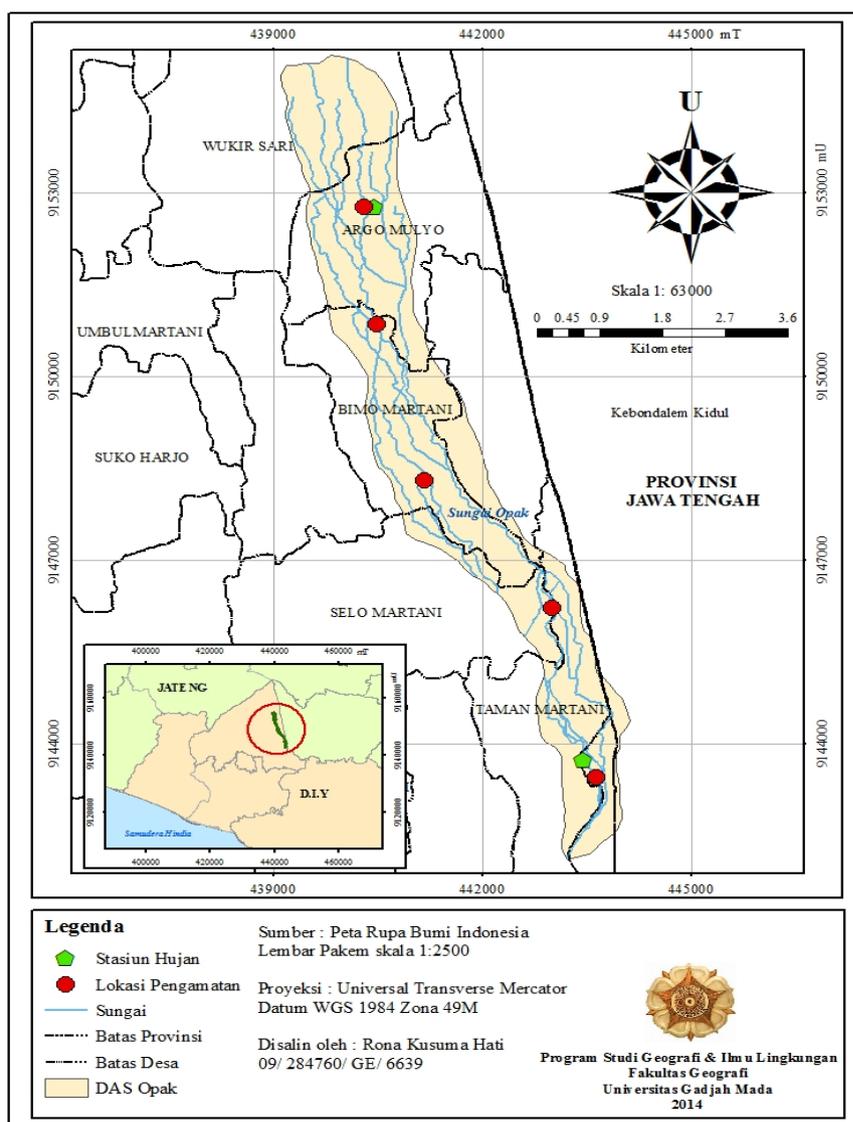
Penelitian tentang kadar sedimen suspensi dan perubahan morfologi sungai dilakukan di sepanjang aliran Sungai Opak yang mengalir di wilayah administratif Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Daerah penelitian berdasarkan koordinat UTM terletak pada zona 49M 439.845 9.155.260 - 443.227 9.142.144. Sub DAS Opak merupakan bagian dari DAS Opak yang mencakup sebagian besar wilayah provinsi DIY. Titik pengamatan tersebar di

lima buah lokasi, yang termasuk di dalam batas administrasi 5 dusun dan 4 desa (Tabel 1).

Secara garis besar, daerah penelitian berada pada lereng Gunungapi Merapi. Gunungapi Merapi diketahui secara luas sebagai gunungapi dengan aktivitas yang sangat tinggi. Aktivitas gunungapi tersebut telah membangun tubuhnya membentuk tipe gunungapi komposit (Sutino,dkk., 2007). Luas Sub DAS Opak yang telah dibatasi yakni sebesar 16,078 km². Peta batas administrasi daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 1 Lokasi pengamatan sedimen muatan di Sungai Opak

Lokasi	Dusun	Desa	Koordinat	Kecamatan	Luas Desa (ha)
1	Bronggang	Argomulyo	49M 440330 9152723	Cangkringan	5,99
2	Banjarharjo	Bimomartani	49M 440510 9150888	Ngemplak	4,985
3	Sorasan	Bimomartani	49M 441176 9148297	Ngemplak	4,985
4	Dalem	Tamanmartani	49 M 443003 9146214	Kalasan	5,574
5	Ngablak	Bokoharjo	49 M 443642 9143444	Prambanan	3,523



Gambar 2 Peta administrasi wilayah penelitian di Sub DAS Opak

METODE PENELITIAN

A. Pengambilan sampel sedimen

Sampel sedimen muatan dasar dan suspensi yang diamati dalam penelitian adalah pada penggal alur Sungai Opak yang tersebar di lima lokasi pengamatan yakni aliran Sungai Opak yang mengalir di wilayah administratif lima dusun : Dusun Banjarharjo, Dusun Sorasan, Dusun Ngablak, Dusun Bronggang, dan Dusun Dalem. Wilayah administratif lokasi pengamatan penelitian berada di Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Sleman. Pada penggal sungai yang diteliti sampel berdistribusi secara acak, sedangkan sampel yang dimaksud yakni kadar sedimen yang terbawa oleh aliran air sungai, serta material dasar sungai yang berada secara alamiah di penggal sungai tersebut.

Pengamatan sampel sedimen suspensi dalam kondisi aliran normal diambil setiap rentang waktu lima hari sekali dilakukan di lokasi Dusun Banjarharjo, Sorasan, dan Ngablak. Pengamatan sampel sedimen suspensi pada saat aliran banjir hanya dilakukan di lokasi Dusun Ngablak, sedangkan pengamatan terhadap sebaran material dasar sungai dilakukan di lokasi Dusun Bronggang, Banjarharjo, Sorasan, dan Ngablak. Pemilihan lokasi pengamatan didasarkan pada pertimbangan kemudahan akses jalan menuju lokasi tersebut dan efektivitas dalam menempuh jalur pengamatan.

Sampel sedimen suspensi

Sampel sedimen suspensi diambil pada penampang sungai yang sebelumnya telah diukur lebar, kedalaman, dan panjangnya. Metode pengambilan sampel suspensi yang digunakan adalah *Point Integrated Method*, yakni sampel air yang mengandung sedimen suspensi diambil pada kedalaman tertentu, dan pengambilan selanjutnya dilakukan pada kedalaman yang sama. Bersamaan dengan pengambilan sampel, diukur pula kecepatan aliran, lebar dan panjang penampang sungai, dan daya hantar listrik (DHL). Pengambilan sampel di lapangan akan dilakukan pada 3 lokasi pengambilan sampel setiap selang 5 hari ketika dalam kondisi aliran normal, yakni pada *upstream*, *middlestream*, dan *downstream*, sedangkan dalam keadaan banjir, sampel seketika diambil setelah kejadian hujan dengan intensitas tinggi atau saat hujan berlangsung di lokasi *downstream*, dengan selang waktu pengambilan 15 menit sekali hingga air sungai terlihat kembali surut. Sampel diambil dengan botol sampel secara langsung sebanyak satu liter.

Sampel sedimen dasar sungai

Sampel material dasar yang diambil pada penelitian ini hanya yang berukuran *gravel* dan material yang lebih besar dari *gravel*. *Gravel* merupakan partikel material yang dapat ikut terangkut oleh aliran air sungai di daerah gunungapi. *Gravel* kebanyakan bergerak dengan cara menggelinding menuruni lereng dasar sungai dan pemilahannya kurang baik. *Gravel* dapat digolongkan sebagai bagian dari muatan sedimen dasar sungai dengan

ukuran partikel 2-64 mm (Bunte dan Abt, 2001). Pada prinsipnya, *gravel* berbeda dengan partikel pasir (*sand*), bukan hanya dari segi ukuran partikel, akan tetapi juga terkait distribusinya pada aliran sungai dan lingkungan dimana aliran sungai itu berada (letak topografi). *Gravel* dapat berupa akumulasi kerakal dan kerikil, atau kombinasi keduanya yang tidak terkonsolidasi (Bunte dan Abt, 2001). Blok (*block*) adalah fragmen batuan yang berukuran lebih besar dari *gravel*, menyudut dan tidak memperlihatkan jejak perubahan oleh media pengangkut.

Pengukuran material *gravel* dan *block* mengacu pada *Wolman Pebble Count Method* (1974), yaitu pengukuran “b-axis” menggunakan jangka sorong untuk partikel batuan yang besarnya lebih dari 5mm hingga 110 mm, lebih dari itu dapat menggunakan meteran kayu atau *sliding gauge*. Prosedur ini dilakukan secara acak melintasi tampang melintang sungai untuk *gravel* yang berada di dalam air maupun yang berada di tepi sungai. “b-axis” adalah sisi material yang memiliki panjang kurang dari “a-axis” namun lebih dari “c-axis”, dan tegak lurus terhadap “a-axis”.

B. Analisa Data

Analisa data penelitian dilakukan dengan membuat lengkung aliran debit (*Discharge Rating Curve*), yakni kurva yang menunjukkan hubungan antara tinggi muka air dan debit pada lokasi penampang sungai tertentu, dan lengkung sedimen suspensi yakni grafik yang menggambarkan hubungan antara konsentrasi sedimen dengan debit aliran.

Persamaan umum lengkung debit adalah $Q_2 = a(H-H_0)^b$, maka dari nilai H_0 yang diperoleh, nilai a dan b dapat ditentukan. Nilai a dan b merupakan variabel yang sangat berpengaruh pada pengukuran debit secara tidak langsung maupun perhitungan estimasi debit yang datanya tidak diketahui (hanya diketahui nilai TMA). Kemudian dilakukan Uji kecocokan T-test untuk mengetahui harga perbedaan antara debit yang terukur langsung di lapangan dengan debit yang ditentukan melalui persamaan kurva lengkung debit aliran.

Kadar muatan suspensi yang terangkut dalam suatu debit aliran sungai dapat direpresentasikan dalam sebuah kurva regresi, ataupun dapat dibuat persamaan secara logaritmik, yakni :

$$Cs = p \times Q^q$$

keterangan :

Cs = kadar muatan suspensi (mg/L)

Q = debit aliran (m^3/dt)

p dan q = konstanta

Untuk mencari nilai dari konstanta p dan q dibantu dengan dua buah persamaan logaritmik berikut :

$$\sum (y) - n \text{Log } p - q \sum (x) = 0$$

$$\sum (xy) - \sum (x) \text{Log } p - q \sum (x^2) = 0$$

keterangan :

y = kadar muatan suspensi

x = debit aliran

n = jumlah sampel

\sum = sigma / tanda jumlah

Lengkung sedimen suspensi adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara konsentrasi sedimen dengan debit aliran. Besarnya konsentrasi sedimen digambarkan pada sumbu y , dan debit aliran pada sumbu x . Kondisi aliran menghasilkan sedimen yang selalu berbeda konsentrasinya, dengan demikian hasil penggambaran pada grafik akan mendapatkan data yang sangat menyebar. Untuk itu, dibuat suatu hubungan logaritmik antara kedua variabel tersebut membentuk persamaan umum $Cs = a(Q)^b$. Konstanta a dan b didapat melalui rumus persamaan logaritma antara debit aliran (x) dengan konsentrasi sedimen (y) untuk sampel sebanyak 20 buah pada masing-masing lokasi.

Uji statistik regresi dan korelasi dilakukan untuk mengetahui adanya hubungan antara variabel debit aliran dengan kadar muatan sedimen suspensi, dan antara variabel debit

aliran dengan debit suspensi. Pada penelitian ini, analisis korelasi yang dipakai yaitu korelasi tata jenjang *spearman*. Koefisien korelasi *spearman* merupakan statistik nonparametrik. Statistik ini merupakan suatu ukuran asosiasi atau hubungan yang dapat digunakan pada kondisi satu atau kedua variabel yang diukur adalah skala ordinal (berbentuk ranking) atau kedua variabel adalah kuantitatif namun kondisi normal tidak terpenuhi.

Uji statistik normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah data dari masing-masing variabel berdistribusi secara normal atau tidak. Uji normalitas ini dilakukan terhadap data kadar sedimen layang, data debit aliran, dan data ukuran *gravel* dan *block*. Uji normalitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji *kolmogorov smirnov*. Konsep dasar dari uji normalitas Kolmogorov Smirnov adalah dengan membandingkan distribusi data (yang akan diuji normalitasnya) dengan distribusi normal baku. Distribusi normal baku adalah data yang telah ditransformasikan ke dalam bentuk Z-Score dan diasumsikan normal. Hipotesis yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

H_0 : $p < 0,05$ maka data tidak berdistribusi normal

H_1 : $p > 0,05$ maka data berdistribusi normal

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva lengkung debit

Lengkung debit dibuat berdasarkan data pengukuran debit pada berbagai ketinggian muka air. Jumlah dan sebaran data pengukuran debit harus cukup mewakili kondisi lapangan. Lengkung debit pada penelitian aliran Sungai Opak dibuat dengan metode logaritmik aritmatik. Pada metode ini grafik hubungan antara debit aliran dengan tinggi muka air berupa garis polynomial lurus atau mendekati lurus, dengan R^2 mendekati 1.

Persamaan lengkung debit untuk lokasi 1 yakni $Q_2 = 3,485 (H-0,1567)^{0,4745}$. Agar lebih meyakinkan bahwa persamaan tersebut dapat dipakai, dapat dilihat dari hasil uji T-Test dimana nilai T-hitung = 0,73 (lebih kecil dari T-tab=1,796), maka persamaan tersebut dapat diterima (tidak ada perbedaan nyata antara harga debit hasil analisa lengkung debit dengan harga debit hasil pengukuran). Persamaan lengkung debit untuk lokasi 2 yakni $Q_2 = 12,243(H-0,21)^{1,014}$. Berdasarkan hasil uji T-

Test lokasi 2, nilai T-hitung = 0,76 (sudah lebih kecil dari T-tab=1,796), maka persamaan tersebut dapat diterima. Persamaan lengkung debit untuk lokasi 3 yakni $Q_2 = 4,91 (H - 0,2832)^{0,61}$

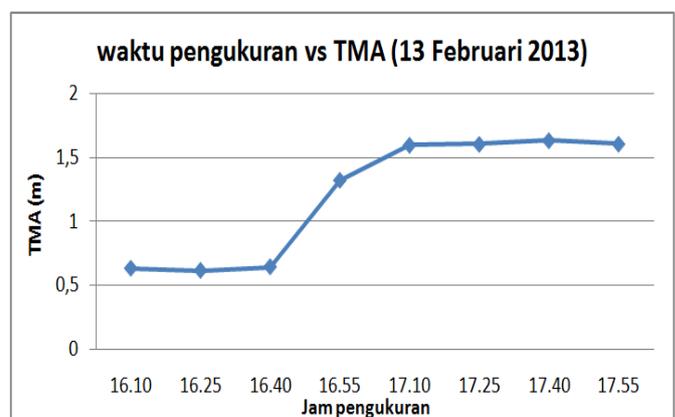
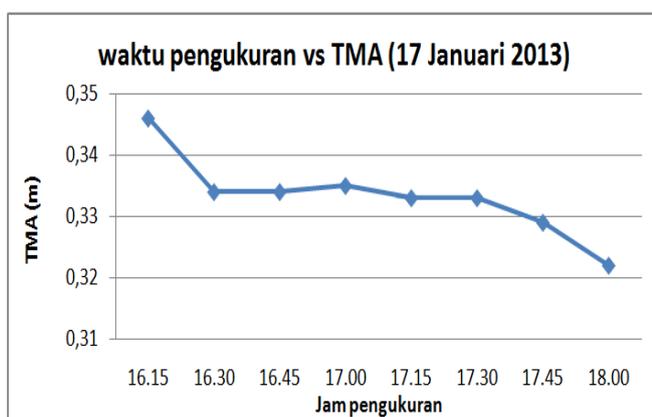
Debit puncak aliran banjir

Pada pengamatan kondisi aliran di Sungai Opak didapatkan dua buah kejadian banjir aliran, yakni pada tanggal 17 Januari 2013 dan 13 Februari 2013. Data debit aliran didapatkan melalui aplikasi data Tinggi Muka Air yang telah diketahui ke dalam persamaan lengkung debit yang telah dibuat sebelumnya yaitu $Q_2 = 4,91(H - 0,2832)^{0,61}$. Metode ini digunakan karena pada saat banjir sangat sulit untuk mengukur kecepatan aliran secara langsung. Diantara tanggal 17 Januari 2013 hingga 13 Februari 2013 terdapat 5 kejadian banjir lainnya. Rerata TMA harian diantara dua kejadian banjir yang diamati mencapai maksimum pada 25 Januari 2013 dengan TMA rerata 1,025m, sedangkan TMA rerata minimum terjadi pada 11 Februari 2013 yaitu 0,285m. Dilihat dari kejadian banjir yang membentuk kurva hidrograf aliran, sisi naik (*rising limb*) cenderung dimulai di sore hari sedangkan sisi turun (*recession limb*) dimulai setelah *peak flow* hingga tengah malam. Pada kejadian banjir tanggal 20, 23, dan 25 Januari 2013 puncak aliran (*peak flow*) terjadi pada jam yang hampir sama yaitu pukul 17.30 ; 16.30 ; dan 17.45, dengan debit puncak sebesar 5,69 m³/det ; 6,25 m³/det ; dan 8,76 m³/det. Sedangkan pada kejadian banjir tanggal 12 dan 13 Februari 2013 puncak aliran juga terjadi di waktu sore hari, yaitu pukul 18.45 dan 17.45 dengan debit puncak sebesar 7,9 m³/det dan 5,9 m³/det.

Kejadian banjir pada tanggal 17 Januari 2013 diamati secara langsung mulai pukul

0,2832)^{0,61}. Berdasarkan hasil uji T-Test, nilai T-hitung = 0,76 (lebih kecil dari T-tab=1,796), persamaan tersebut juga dapat diterima.

16.15. Pada jam tersebut, TMA tercatat sebesar 0,346 m. Setelah itu TMA terus menurun hingga pukul 18.00 sebesar 0,322m. artinya, puncak aliran memang terjadi di awal pengukuran. Kejadian banjir pada tanggal 13 Februari 2013 diamati secara langsung sejak pukul 16.10 dengan TMA 0,632 m. TMA terus naik hingga mencapai puncaknya pada pukul 17.45 yaitu 1,636 m yang menjadi puncak aliran. Setelah mencapai puncak aliran, TMA aliran kemudian menurun dari pukul 17.55 hingga pukul 23.45. Grafik TMA kedua kejadian banjir aliran dapat dilihat pada Gambar 3. Banjir dengan debit lebih dari 5m³/det dikategorikan sebagai *debris*. Selain debitnya yang cukup besar, *debris* juga membawa material sedimen berbagai ukuran baik yang terlarut bersama aliran maupun yang bergerak di dasar alur sungai. Banjir aliran tentunya perlu diwaspadai, mengingat Sungai Opak terkadang dimanfaatkan penduduk sekitar baik untuk mencuci, irigasi, menggembala ternak, dan kebutuhan sehari-hari yang memanfaatkan air Sungai Opak. Sistem peringatan dini seharusnya dipasang di dekat Sungai Opak agar penduduk sekitar mengetahui bilamana akan terjadi aliran debis yang tidak dapat dilihat secara langsung tanda-tandanya. Dengan adanya sistem peringatan tersebut diharapkan penduduk sekitar lebih waspada dan tanggap bahaya, serta tidak berada di dekat aliran Sungai Opak saat sore hari pada musim penghujan.



Gambar 3 Grafik TMA terhadap waktu pengukuran kejadian banjir aliran Sungai Opak di Dusun Ngablak

Kurva lengkung sedimen

A. Konsentrasi dan debit sedimen suspensi aliran normal

Hasil perhitungan persamaan lengkung sedimen untuk ketiga lokasi pengamatan (Dusun Banjarharjo, Dusun Soasan, Dusun Ngablak) ditunjukkan pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2 Persamaan lengkung sedimen

Hubungan debit aliran vs konsentrasi sedimen suspensi					
Lokasi	Persamaan	R2	Regresi	Korelasi	Signifikansi
1	$C_s=1,012(Q)^{0,034}$	0,846	$y=24,48+2,96x$	0,188	0,427
2	$C_s=1,033(Q)^{0,023}$	0,883	$y=14,04+2,3x$	0,256	0,275
3	$C_s=1,043(Q)^{0,00357}$	0,929	$y=19,92+2,77x$	0,337	0,146
Hubungan debit aliran vs debit sedimen suspensi					
Lokasi	Persamaan	R2	Regresi	Korelasi	Signifikansi
1	$Q_s=3,43(Q_a)^{1,418}$	0,978	$y=1,23+0,6x$	0,670	0,001
2	$Q_s=1,09(Q_a)^{1,433}$	0,982	$y=0,04+1,43x$	0,660	0,001
3	$Q_s=0,504(Q_a)^{2,44}$	0,912	$y=0,44+0,7x$	0,761	0,000

Sumber : Perhitungan data lapangan

Keterangan :

- Koefisien determinasi : perubahan debit aliran di lokasi penelitian berpengaruh sebesar sekian persen (angka R^2 pada tabel dikali 100%) terhadap perubahan konsentrasi sedimen suspensi. Sisanya ($100\% - R^2$ dalam persen) merupakan pengaruh dari faktor lain diluar debit aliran.
- Regresi : menunjukkan linearitas variabel terikat dengan variabel bebasnya, dalam persamaan tersebut, debit aliran merupakan variabel bebas. Sedangkan konsentrasi sedimen dan debit sedimen suspensi merupakan variabel terikat
- Korelasi : Ukuran kekuatan atau derajat hubungan antara dua buah variabel uji. Hasil analisis korelasi dinyatakan secara kuantitatif sebagai koefisien korelasi. Pada analisis hubungan debit aliran dengan konsentrasi sedimen suspensi di ketiga lokasi penelitian menunjukkan korelasi positif (searah) lemah. Sedangkan hubungan debit aliran dengan debit sedimen suspensi memiliki korelasi positif (searah) baik. Koefisien korelasi yang lemah berarti masih terdapat faktor lain yang mempengaruhi perubahan konsentrasi sedimen selain oleh debit aliran, sehingga nilai koefisien determinansi tidak sempurna $R^2=1$. Faktor lain tersebut diantaranya vegetasi di sepanjang alur sungai, jumlah bangunan pengendali sedimen yang berada diatas penampang sungai, volume pasokan sedimen, dan adanya usaha normalisasi sungai.
- Signifikansi (α) : merupakan gambaran tentang hasil riset mempunyai kesempatan untuk benar, bukan didasarkan atas kebetulan. Angka signifikansi (α) yang dipilih dalam penelitian ini adalah $\alpha=0,05$. Artinya, hasil riset mempunyai kesempatan untuk benar sebesar 95% dan salah sebesar 5%. Bila nilai signifikansi kurang dari 0,05 ($p<0,05$) maka angka korelasi signifikan, dan sebaliknya. Berdasarkan analisa statistik signifikansi korelasi hubungan antara debit aliran (X) dengan konsentrasi sedimen suspensi (Y) pada ketiga lokasi menyatakan tidak signifikan. Hal ini berarti model persamaan yang dibangun hanya bisa diterapkan di penampang sungai tempat dilakukannya pengukuran, dan harus dihitung ulang apabila dilakukan pengukuran di waktu mendatang. Namun pada analisa signifikansi korelasi hubungan debit aliran dengan debit sedimen di ketiga lokasi menunjukkan hasil signifikan, artinya model persamaan dapat dipakai untuk penelitian di waktu mendatang.

B. Konsentrasi dan debit sedimen suspensi aliran banjir

Konsentrasi sedimen pada saat terjadi banjir aliran diambil diambil di lokasi pengamatan Dusun Ngablak. Konsentrasi sedimen terbesar pada tanggal 17 Januari 2013 adalah pada sampel pukul 16.30 yaitu 8120,47 mg/L (Tabel 3), dan yang terkecil pada sampel pukul 18.00 sebesar 1555 mg/L. Debit suspensi rata-rata harian dalam pengukuran tersebut dihitung dengan persamaan sub division atau interval tengah yakni hasil konstanta (0,0864) dibagi banyaknya pengukuran kemudian dikali

Tabel 3. Debit sedimen suspensi kejadian banjir 17 Januari 2013

17 Januari 2013				
Waktu	Sedimen (mg/L)	H (m)	Debit (m ³ /det)	QxCxAt
16.15	7307,00	0,346	0,907	1657,738
16.30	8120,47	0,334	0,797	1618,748
16.45	5494,81	0,334	0,797	1095,346
17.00	4305,49	0,335	0,807	868,53
17.15	2409,37	0,333	0,788	474,4979
17.30	3642,00	0,333	0,788	717,2513
17.45	1970,17	0,329	0,749	368,6827
18.00	1555,00	0,322	0,677	262,99
jumlah	8120,47	2,666	8,339	7063,785
Qs rata-rata	111,44 ton/hari			

Sumber : Pengolahan data lapangan

sigma perkalian interval waktu per 15 menit, debit aliran, dan konsentrasi sedimen. Perhitungan menghasilkan debit suspensi rata-rata sebesar 111,44 ton/hari. Konsentrasi sedimen pada kejadian banjir aliran tanggal 13 Februari 2013 yang terbesar berasal dari sampel air yang diambil pada pukul 17.10 sebesar 33380 mg/L (Tabel 4). Sedangkan konsentrasi terkecil ada pada sampel pukul 16.10 yaitu 8358 mg/L. Debit suspensi rata-rata yang dihitung dengan persamaan *sub division* atau interval tengah menghasilkan debit suspensi rata-rata sebesar 1800,46 ton/hari.

Tabel 4. Debit sedimen suspensi kejadian banjir 13 Februari 2013

13 Februari 2013				
Waktu	Sedimen (mg/L)	H (m)	Debit (m ³ /det)	QxCxAt
16.10	8358	0,632	2,583	5396,293
16.25	25056,4	0,615	2,505	15691,87
16.40	21516,6	0,644	2,636	14181,68
16.55	13271,4	1,324	5,031	16692,92
17.10	33380	1,599	5,805	48441,06
17.25	21431,6	1,607	5,826	31216,75
17.40	11503,2	1,636	5,904	16978,24
17.55	8707,6	1,608	5,829	12689,12
jumlah	33380	9,665	19,239	161287,9
Q rata-rata	1800,46 ton/hari			

Variasi material muatan dasar dalam skala ruang

Pengukuran ukuran “b-axis” sampel *gravel* dan *block* batuan yang diambil pada beberapa titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 5 Dan Tabel 6.

Tabel 5 Variasi ukuran “b-axis” sampel *gravel*

Lokasi	Administratif	Elevasi (mdpal)	Rata-Rata (mm)	Maks (mm)	Min (mm)	D50 (mm)	Normalitas
1	Dusun Bronggang	386	95,6	375	32	78	0,479
2	Dusun Banjarharjo	325	93	210	32	85	0,093
3	Dusun Sorasan	299	77	210	22	70	0,302
4	Dusun Dalem	188	104	840	5	41	0,000
5	Dusun Ngablak	158	87	450	5	69	0,024

Tabel 6 Variasi ukuran “b-axis” sampel *block*

Lokasi	Administratif	Elevasi (mdpal)	Rata-Rata (mm)	Maks (mm)	Min (mm)	Normalitas
1	Dusun Bronggang	386	935,8	1870	125	0,635
2	Dusun Banjarharjo	325	541	695	415	0,272
3	Dusun Sorasan	299	252	430	81	0,315
4	Dusun Dalem	188	-	-	-	-
5	Dusun Ngablak	158	544	720	350	0,404

Sumber : Pengolahan data lapangan

Berdasarkan hasil uji statistik sampel *gravel* dan blok batuan pada beberapa lokasi di Sungai Opak, ada data yang berdistribusi normal, adapula yang tidak. Data yang berdistribusi normal maksudnya sampel dapat diasumsikan benar-benar mewakili populasi, dan data empirik yang didapat dari lapangan sesuai dengan distribusi teori statistik. Hasil pengukuran “b-axis” pada material batuan di berbagai lokasi dengan elevasi berbeda secara opini dinyatakan tidak sesuai hipotesis bahwa semakin tinggi elevasi maka ukuran batumannya lebih besar. Dikarenakan perbedaan besar energi aliran di masing – masing lokasi, dan kemungkinan batuan berpindah secara tidak alami. Pernyataan tersebut belum dapat dikatakan mutlak benar secara empiris. Masih diperlukan uji statistik nyata dengan perbaikan cara pengambilan sampel maupun dengan penambahan jumlah sampel agar dapat dikemukakan argumentasi ilmiah berdasarkan nilai uji.

Jumlah dan sebaran batuan pada beberapa lokasi pengamatan turut menjadi pertimbangan dalam pengambilan sampel. Idealnya, pada lokasi dengan jumlah batuan lebih banyak diambil sampel yang lebih banyak pula agar dapat mewakili populasi di lokasi tersebut. Kenyataan di lapangan, lokasi dengan elevasi tinggi tidak selalu memiliki jumlah batuan lebih banyak dan ukuran batuan lebih besar dibandingkan lokasi dengan elevasi rendah. Apabila diasumsikan material tersebut berpindah secara alami, dapat dikatakan bukti bertentangan dengan hukum gravitasi dan kekekalan massa.

Keberadaan bangunan *sabo* DAM juga mempengaruhi volume material sedimen sungai. *Sabo* merupakan satu suatu sistem atau teknik untuk pengendalian erosi dan pergerakan sedimen yang diperkenalkan oleh Tomoaki Yokota pada tahun 1970. Pembangunan *sabo* DAM dimaksudkan untuk memperkecil kemiringan dasar sungai, sehingga laju kecepatan aliran lahar dapat diperlambat dan sedimen dapat tertampung pada *sabo*. Pembangunan *sabo* DAM umumnya berasosiasi dengan adanya bendung. Pada aliran Sungai Opak, bendung dibangun dibawah *sabo*. Hal ini dimaksudkan agar aliran

lahar atau material sedimen yang terbawa arus sungai dapat tertahan dulu oleh *sabo* DAM sebagai mana fungsinya sebagai bangunan penahan sedimen, sehingga bendung tidak akan rusak oleh material sedimen. Dengan adanya *sabo*, sedimen yang terangkut oleh aliran sungai menjadi jauh lebih kecil dibandingkan bila tidak dikendalikan dengan *sabo*. *Sabo* dapat menahan sedimen dengan berbagai ukuran, sehingga memungkinkan material dasar sungai terdistribusi secara tidak merata dalam suatu alur sungai baik dari segi kuantitas maupun ukuran material. Jadi, hasil penelitian tentang variabilitas ukuran material dasar sungai yang tidak sesuai hipotesis dapat disebabkan oleh kemungkinan material dasar sungai berpindah dengan campurtangan manusia maupun karena adanya bangunan *sabo* di Sungai Opak.

Pada lokasi pengamatan aliran Sungai Opak di Dusun Ngablak dipantau pergerakan material blok yang dijadikan sampel pengukuran “b-axis”. Mayoritas blok batuan tersebut berpindah dan beberapa telah hilang selama periode pengamatan yang dimulai tanggal 31 Oktober 2012 hingga 22 Februari 2013. Pada akhir periode pengamatan tanggal 22 Februari 2013 hanya tersisa 5 blok batuan yang masih bertahan di tempat semula yakni blok batuan nomor 1, 12, 17, 3 dan 5. Blok yang tersisa memiliki ukuran besar, dan mungkin sulit terpindahkan oleh energi kecepatan aliran air sungai. Blok batuan lainnya kemungkinan besar terbawa oleh aliran secara alami maupun dipindah oleh manusia. Sebelum tanggal 23 Januari 2013 terjadi dua kejadian banjir yaitu pada tanggal 17 dan 20 Januari, kejadian banjir turut mempengaruhi perpindahan blok batuan karena energi aliran pada saat banjir jauh lebih besar dibandingkan pada saat aliran normal. Penurunan gradien sungai menyebabkan penurunan jumlah dan ukuran partikel material dasar aliran. Setiap material dasar aliran sungai memiliki kapasitas transportasi tersendiri. Artinya, material tersebut baru akan dapat berpindah baik dengan cara bergeser maupun menggelinding apabila mendapatkan dorongan gaya (gaya viskositas aliran dan gravitasi) yang melebihi momen diamnya.

Perubahan Morfologi Sungai Opak

Perubahan bentuk aliran ditunjukkan dari beberapa dokumentasi temporal tahun 2007 dan tahun 2012 di beberapa plot titik tinjauan untuk melihat adanya perubahan pada morfologi Sungai Opak (Gambar 4). Letusan Gunungapi Merapi di tahun 2010 merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap perubahan morfologi Sungai Opak. Pada kasus sungai di sekitar Gunungapi Merapi, mekanisme suplai sedimen merupakan fungsi karakteristik letusan (frekuensi serta tingkat letusan). Aliran *debris* merupakan akibat lanjutan dari erupsi gunungapi. *Debris* terjadi karena curah hujan di wilayah gunungapi tinggi pada musim penghujan, kemudian air presipitasi mengalir turun sebagai energi potensial besar yang mengangkut material suplai sedimen hasil erupsi dalam jumlah besar. Aliran *debris* secara langsung juga membawa pengaruh yang signifikan terhadap perubahan morfologi sungai. Hal itu disebabkan pada elevasi yang lebih rendah dan adanya pengaruh bangunan pengendali laju aliran di sepanjang alur Sungai Opak, kecepatan *debris* akan semakin menurun, maka memungkinkan terjadi pengendapan bahan sedimen yang diangkut bersama aliran.

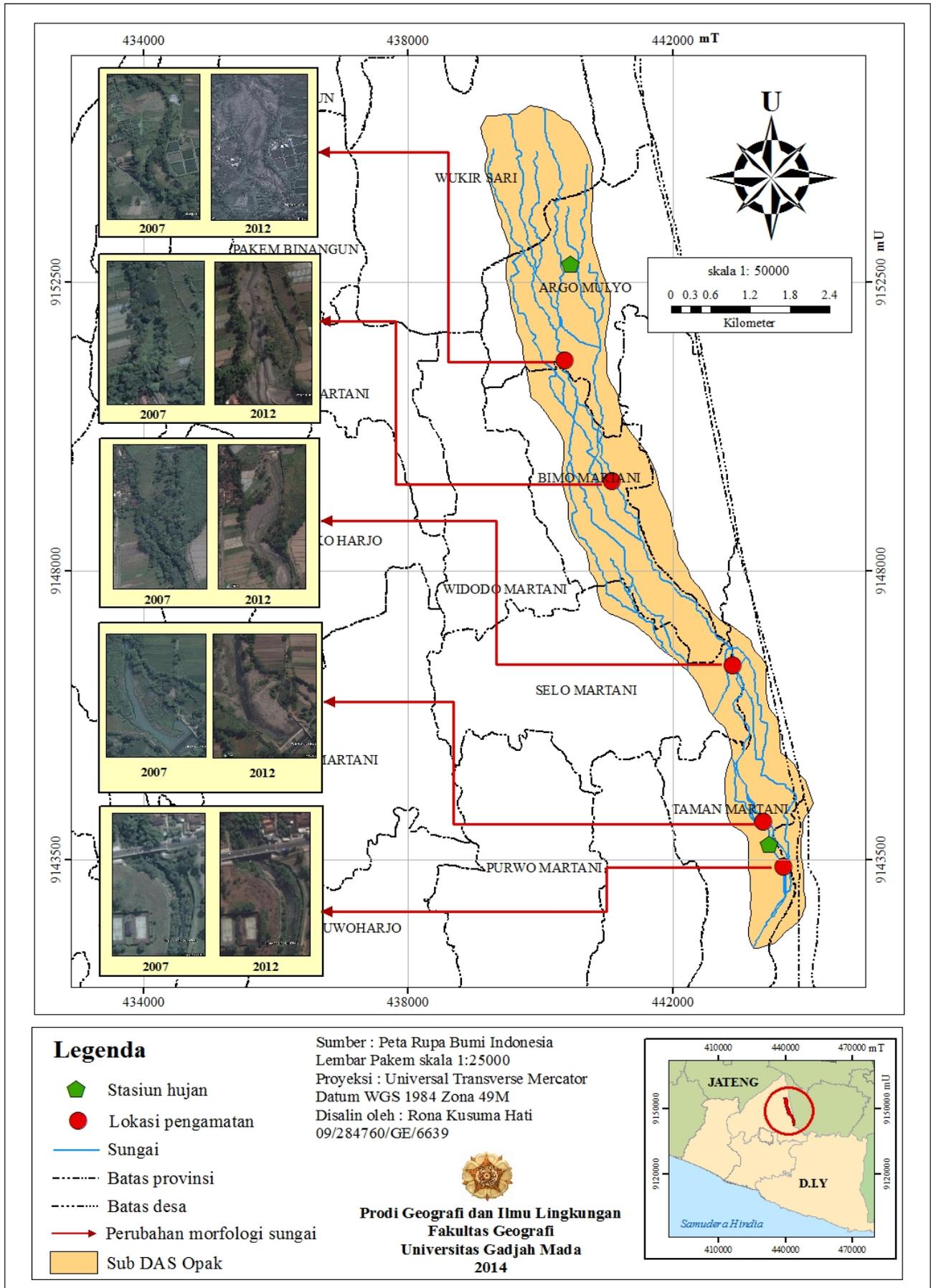
Pada Gambar 5, Plot 1-5 menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada aliran Sungai Opak kondisi tahun 2007 dengan 2012. Plot 1 : material sedimen membentuk meander pada belokan alur sungai, dan tersebar secara tidak beraturan di sisi kiri kanan sungai. Plot 2 : terdapat tumpukan material hasil erupsi di sepanjang alur sungai yang kemudian memperlebar alur sungai. Plot 3 : terjadi

penambahan luasan sungai, terutama pada kelok sungai. Material sedimen yang terangkut memiliki ukuran yang bervariasi. Sejumlah besar volume sedimen tertahan di kelok sungai sebagai akibat dari energi aliran air menjadi rendah ketika membentur tebing kelok sungai, sehingga tidak mampu lagi mengangkut material sedimen, kemudian sedimen terendapkan di tempat tersebut. Plot 4 : banyaknya material yang menumpuk di bendung pertemuan Gendol-Opak adalah sumber deposit sedimen untuk aliran di bawahnya. Plot 5 : hanya mengalami pelebaran alur sungai.

Dasar sungai tersusun oleh endapan material angkutan sedimen yang terbawa aliran sungai. Besarnya volume angkutan sedimen tergantung pada perubahan kecepatan aliran. Perubahan volume angkutan sungai dapat menyebabkan bentuk dasar sungai berubah-ubah. Kajian dilakukan terhadap hasil pengukuran geometri penampang Sungai Opak tahun 2000 dan 2013 di Dusun Ngablak, yang mana diantara tahun tersebut terjadi erupsi Gunungapi Merapi pada tahun 2010 menghasilkan cukup banyak material bahan sedimen. Besarnya volume sedimentasi bervariasi pada profil 0 hingga profil 4. Luasan area sedimentasi profil 0 hingga profil 4 disajikan pada Tabel 10. Sementara volume sedimen didapatkan dari luasan area sedimen dikalikan jarak antar profil (50 m). Diibaratkan volume sedimen antar profil merupakan volume benda tidak beraturan. Volume sedimen terbesar terendapkan pada profil 0-1.

Tabel 7 Luasan dan volume sedimentasi profil penampang Sungai Opak

Profil	Luas area sedimen (m²)	Luas rerata (m²)	Volume sedimen (m³)
0	3.77	3.185	12.00745
1	2.6	2.3	5.98
2	2	1.705	3.41
3	1.41	1.75	2.4675
4	2.09	2.09	4.3681



Gambar 4 Peta perubahan morfologi Sungai Opak perbandingan kondisi tahun 2007 (sebelum erupsi) dengan tahun 2012 (sesudah erupsi) (Sumber : Google Earth).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hasil yang didapatkan dari rerata pengukuran “b-axis” besar *gravel* dan blok batuan tidak sesuai hipotesis bahwa semakin tinggi tempat maka ukuran batuanannya lebih besar. Kenyataan di lapangan, faktor kecepatan aliran sungai harus dipertimbangkan juga sebagai suatu energi penggerak, dan kemungkinan material tersebut terpindah secara tidak alami (adanya campurtangan manusia).
2. Persamaan lengkung sedimen pada aliran normal di lokasi pengamatan satu hingga tiga berturut-turut yaitu : $C_s=1,012 (Q)^{0,034}$, $C_s=1,033 (Q)^{0,023}$, $C_s=1,043(Q)^{0,00357}$, berdasarkan persamaan tersebut data lapangan dibuat kurva lengkung sedimen, dan ketiga kurva menghasilkan nilai regresi mendekati 1. Sedangkan debit sedimen pada saat aliran banjir yaitu 111,44 ton/hari pada kejadian banjir bulan Januari, dan 1800,46 ton/hari pada kejadian banjir bulan Februari.
3. Data citra temporal menunjukkan adanya perubahan bentuk aliran Sungai Opak sebelum dan sesudah tahun 2010. Perubahan tersebut berupa adanya tumpukan material hasil erupsi Gunungapi Merapi pada alur sungai yang merubah lebar dan kelurusan sungai. Profil melintang sungai dari hasil pengukuran tahun 2000 dengan 2013 juga menunjukkan adanya perubahan, yakni terjadi degradasi pada dasar sungai sebelah kanan, dan sedimentasi pada dasar sungai sebelah kiri dan tengah alur menyebabkan agradasi.

Saran

1. Usaha pengelolaan Sungai Opak hulu yang perlu dilakukan yakni pemantauan berkala pada kondisi aliran sungai dan normalisasi sungai dengan cara pengambilan material sepanjang alur sungai agar tidak menghalangi jalannya air. Usaha tersebut dengan tetap memperhatikan prinsip keseimbangan lingkungan.
2. Saran untuk penelitian selanjutnya di Sungai Opak dapat berupa pengkajian kapasitas tampung alur sungai terhadap aliran *debris* dan aliran banjir. Karena pada dua kejadian tersebut berpotensi terjadi luapan air dimana tebing artifisial dan bangunan air berada pada batasan tidak mampu menahan luapan air dan material yang terangkut selama aliran terjadi, sehingga mengakibatkan kerusakan fungsi bangunan, serta kerentanan bagi masyarakat sekitar.

PUSTAKA

- Asdak,C., 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press.
- Bunte,K. , Abt, S. 2001. *Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring*. USDA (United States Department of Agriculture).
- Lavigne, Franck. , 2004. Rate of Sediment Yield Following Small scale Volcanic Eruptions: a Quantitative Assesment at the Merapi and Semeru Stratovolcanoes, Java, Indonesia. *Journal of Earth Surface Processes and Landforms* 29, 1045–1058 (2004).
- Manville,V., Newton,E., White,J., 2004. Fluvial Response to Volcanism : Resedimentation of the 1800a Taupo Ignimbrite Eruption in the Rangitaiki River chatchment, North Island, New Zealand. Elsevier : *Journal of Geomorphology* , 65 (2005) 49–70.
- Mananoma,T., Sudjarwadi, Raharjo,A.P., Legono, D. 2000. Analisis persamaan transport sedimen terhadap fenomena perubahan morfologi Sungai Progo tengah. *Jurnal Teknik Sipil UGM*.
- Maryono, A., 2005. *Eko – Hidraulik Pembangunan Sungai*. Yogyakarta : Magister Sistem Teknik Program Pascasarjana UGM.
- Soewarno. 1991. *Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai*. Bandung : NOVA.
- Sugiyono. 2003. *Statistika untuk Penelitian*. Bandung : Alfabeta.
- Sutikno, W.S., Langgeng, Widiyanto. 2007. *Kerajaan Merapi*. Yogyakarta : Badan Penerbit Fakultas Geografi UGM.
- Wibowo, Mardi. 2001. Permodelan Statistik Hubungan Debit dan Kandungan Sedimen Sungai. *Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol. 2, No.3, September 2001* : 255-260.