

Karakteristik Sedimen Permukaan Dasar Sungai Pabelan, Sebelum dan Sesudah Erupsi 2010

Widiyanto
Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta

ABSTRAK

Gunungapi Merapi merupakan gunungapi yang paling aktif di Indonesia, dengan periode erupsi 5 hingga 10 tahun. Erupsi Gunungapi Merapi mengeluarkan gas dan piroklastis berukuran debu hingga bongkah sangat besar. Hujan pada sisi barat Gunungapi Merapi menyebabkan sedimen menjadi sangat dinamis. Dalam kondisi normal, perpindahan sedimen oleh proses fluvial, sedangkan pada kondisi tertentu, perpindahan sedimen oleh proses gravitasional dalam bentuk aliran awan panas dan lahar. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik granulometri sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan sebelum dan sesudah erupsi. Pengamatan sedimen permukaan dasar sungai dan morfologi sungai dilakukan sebelum dan sesudah erupsi 2010. Lokasi pengamatan sedimen pada bagian hulu, tengah dan bagian hilir sungai, mencakup besar butir, kebulatan butir dan kebundaran butir sedimen. Dengan mengetahui persebaran granulometri butir sedimen, selanjutnya dapat digunakan untuk pengelolaan sedimen untuk mencegah kerusakan sungai.

Kata kunci: erupsi, karakteristik, granulometri, sedimen

PENDAHULUAN

Daerah aliran Sungai Pabelan merupakan sub-Daerah Aliran Sungai Progo sebagian terletak pada gunungapi aktif, yaitu Gunungapi Merapi, dan sebagian terletak pada gunungapi tidak aktif, yaitu Gunungapi Merbabu. Pada Musim Penghujan, lahar sering terjadi pada Sungai Apu, Sungai Tringsing, Sungai Senowo, dan Sungai Pabelan (Padang, 1951; Katili, 1980; Lavigne, dkk. 2000). Aliran lahar mempunyai daya rusak yang sangat tinggi (Gambar 1).

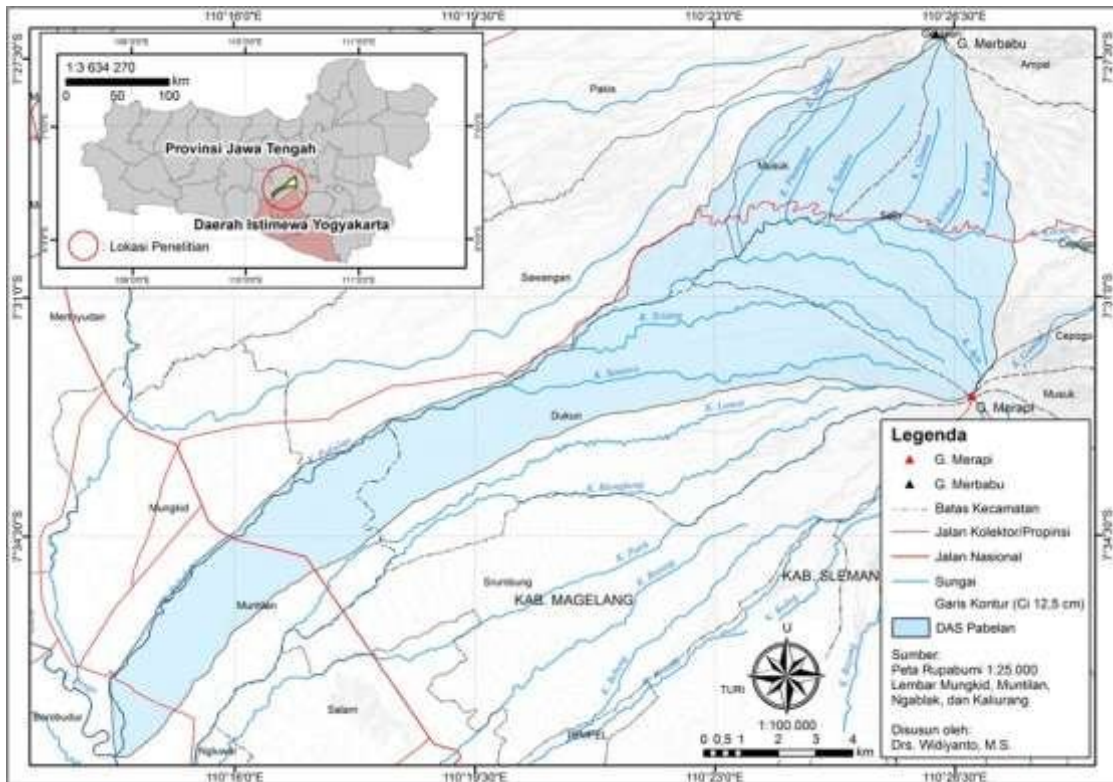
Gunungapi Merapi merupakan sumber utama sedimen di DAS Pabelan. Dinamika sedimen dapat menimbulkan berbagai masalah, bahkan dapat menimbulkan bencana yang berkepanjangan (Sutikno, 2012). Bencana sedimen dapat disebabkan oleh perpindahan sedimen. Lokasi bencana dapat terjadi pada sumber sedimen, lintasan aliran sedimen dan pada lokasi pengendapan. Sedimen dapat menimbulkan pendangkalan sungai, saluran irigasi, waduk dan rawa, selanjutnya dapat menyebabkan banjir, gagal panen, kekurangan air bersih dan kerawanan sosial.

Endapan lahar dicirikan oleh susunan butir tanpa pemilahan, dengan ukuran butir bervariasi dari geluh hingga bongkah sangat besar (Chamley, 1990). Butiran pada aliran sedimen saling bergesekan, sehingga aus, mengecil, menumpul, bahkan membundar. Sedimen yang berukuran besar mengendap dekat sumbernya, sedangkan sedimen yang lebih kecil terangkut lebih jauh. Kerakal lebih cepat aus pada aliran turbulen, dibanding pada aliran laminar.

Sebagian DAS Pabelan rawan bahaya lahar hujan, sehingga mulai tahun 1969 dibangun pengendali sedimen. Sejak tahun 1980 penambangan pasir di DAS Pabelan mulai intensif, bahkan pada tahun 1990 penambangan sangat intensif, menggunakan alat berat. Keuntungan dari penambangan pasir dan batu sangat tinggi menyebabkan penambangan semakin intensif. Akibatnya, pasokan pasir dan batu dari sumbernya lebih kecil dibanding dengan pasir dan batu yang ditambang.

Makalah ini menyajikan bidang ilmu geografi, dengan pengkhususan geografi fisik, yaitu mempelajari hubungan timbal balik antara manusia dengan lingkungan, termasuk geomorfologi sebagai lingkungan fisik. Dalam mempelajari geomorfologi ada empat aspek yaitu: aspek morfologis, morfogenetik, morfokronologis, dan aspek morfoasosiasi (Zuidam dan Cancelado. 1979).

Ilmu geografi hingga sekarang terus berkembang, sesuai dengan perkembangan teknologi dan semakin dikenal serta diperlukan dalam berbagai bidang. Kajian geografi selalu dikaitkan dengan kehidupan manusia dalam ruang dan waktu (Whittow, 1984; Peet, 1998). Terapan ilmu geografi dalam makalah ini adalah, menyajikan karakteristik persebaran granulometris sedimen permukaan dasar sungai di DAS Pabelan, sebelum dan sesudah erupsi Gunungapi Merapi tahun 2010. Kajian karakteristik persebaran granulometris sedimen permukaan dasar sungai sangat penting karena dapat digunakan untuk pengelolaan sungai.



Gambar 1. Lokasi Daerah Aliran Sungai Pabelan, Provinsi Jawa Tengah

Geomorfologi

Morfologi Gunungapi Merapi memiliki kesan seolah-olah pernah longsor ke arah barat, mulai dari kerucut bagian atas hingga kaki gunungapi (Bemmelen, 1970; Padang, 1983 dan Newhall dkk., 2000). Menurut Zen (2006), kesan longsor disebabkan oleh erupsi yang sangat besar, sehingga bagian barat tubuh Gunungapi Merapi seolah longsor dan bagian timur kerucut meninggalkan dinding terjal melengkung ke arah barat (Gambar 2). Oleh karena itu, sebagian besar aliran piroklastis, awan panas, dan lahar mengalir ke arah barat dan hanya sebagian kecil mengalir ke arah utara dan selatan (Bronto dkk, 1996).

Menurut Voight dkk. (2000), morfologi puncak Gunungapi Merapi selalu mengalami perubahan sebagai akibat dinamika pertumbuhan kubah lava. Kubah lava yang stabil dapat menjadi penyebab berpindahnya pertumbuhan kubah lava baru yang kurang stabil. Perubahan morfologi kerucut bagian atas dapat menentukan arah aliran piroklastis dan arah guguran kubah lava, selanjutnya menentukan arah aliran lahar. Aliran piroklastik yang melanda sisi selatan Gunungapi Merapi, termasuk Ruang Lindung Darurat di Kaliadem merupakan akibat dari perubahan morfologi kerucut bagian selatan.



Gambar 2. Morfologi Gunungapi Merapi

Mu: batuan hasil aktivitas Gn. Merapi Muda; **Tu:** batuan hasil aktivitas Gn. Merapi Tua; **Lo:** kesan bagian kerucut yang longsor (Sumber: Newhall dkk. 2000)

Aliran Sedimen

Aliran sedimen dapat dibedakan menjadi: a) aliran piroklastik; b) aliran lahar; dan c) aliran sedimen oleh proses fluvial. Aliran piroklastik merupakan gerakan puing batuan menuruni lereng karena pengaruh gravitasi bumi. Butiran pada aliran piroklastik berukuran debu hingga bongkah sangat besar, disertai gas dengan suhu berkisar antara 100°C–1000°C dan kecepatan berkisar antara 10–300km/jam (Kusumosubroto, 2012). Aliran piroklastik dapat berasal dari guguran kubah lava atau erupsi gunungapi. Dalam sejarah aktivitas Gunungapi Merapi, aliran piroklastik pernah melanda pada semua sisi, kecuali sisi timur. Pada sisi utara, awan panas melalui Sungai Apu dan Sungai Tringsing, sedangkan pada sisi barat, awan panas melalui Sungai Senowo (Lavigne dkk. 2000b). Akibat hujan dengan intensitas >40 mm/2jam pada endapan piroklastis dapat menyebabkan terjadinya lahar hujan.

Aliran lahar mempunyai daya rusak yang tinggi. Kecepatan aliran lahar akan berkurang seiring dengan berkurangnya kemiringan dasar sungai. Aliran lahar dapat berubah menjadi aliran normal, jika terjadi penambahan air dalam jumlah besar. Berdasarkan kandungan sedimen, aliran sedimen dibedakan menjadi tiga, yaitu: (1) aliran lahar adalah aliran air dengan kadar sedimen >60 %; (2) aliran air dengan kadar sedimen sangat tinggi, yaitu berkisar antara 20 – 60 %; dan (3) aliran air dengan kadar sedimen rendah, yaitu <20 %. Aliran normal dicirikan oleh dominasi air, sedangkan aliran lahar didominasi oleh sedimen (Valance, 2000, pada Lavigne dan Suwa, 2004).

Endapan lahar dicirikan oleh susunan ukuran butir tanpa pemilahan, sedangkan pada endapan fluvial dapat terjadi pemilahan butir dan terbentuk struktur berlapis. Ukuran butir pada endapan lahar bervariasi dari geluh ($\Phi < 0,625$ mm) hingga bongkah sangat besar ($\Phi > 2,048$ mm). Pada aliran lahar, kerakal, dan bongkah terletak di bagian atas, sedangkan kerikil, dan pasir terletak di bagian bawah, sehingga seolah-olah kerakal, dan bongkah mengapung di atas kerikil dan pasir.

Karakteristik persebaran granulometris sedimen permukaan dasar sungai ini merupakan hasil penelitian di DAS Pabelan, dengan mengkaji dan menganalisis besar butir, kebulatan, dan kebundaran butir sedimen. Proses yang pernah terjadi dapat ditelusur dari persebaran besar butir pada bagian hulu, bagian tengah dan bagian hilir sungai, sedangkan proses yang akan terjadi dapat diperkirakan dari gejala erosi dasar tebing dan erosi dasar sungai. Menurut Friedman dan Sanders (1978), butiran pada aliran sedimen saling berbenturan dan bergesekan dengan butiran yang lain atau bergesekan dengan dasar sungai. Oleh karena itu butiran sedimen mengalami keausan, ukurannya semakin kecil dan sudut menjadi tumpul. Dengan demikian, semakin jauh sedimen terangkut semakin intensif proses keausan.

Pada proses fluvial, tenaga air untuk mengangkut sedimen akan berkurang seiring dengan menurunnya gradien sungai. Sedimen yang berukuran besar akan mengendap dekat sumbernya, sedangkan sedimen yang lebih kecil akan terangkut lebih jauh. Persebaran sedimen tersebut dapat terjadi pada kondisi alami, jika kemiringan dasar sungai berkurang secara gradual. Friedman dan Sanders (1978), menyatakan bahwa, kerakal yang terperangkap pada aliran turbulen akan mengalami keausan lebih cepat dibanding dengan pada aliran laminar. Oleh karena itu, semakin banyak terjadi aliran turbulen butiran sedimen akan semakin bundar.

Bongkah mengalami perubahan ukuran besar butir dan bentuk butir lebih cepat dibanding dengan perubahan pada pasir (Friedman dan Sanders 1978). Lebih lanjut Friedman dan Sanders (1978) menyatakan bahwa, perubahan bentuk butir sedimen selama pengangkutan ditentukan oleh: (1) bentuk asli setelah lepas dari batuan dasar; (2) komposisi batuan; (3) kekerasan dan kerapuhan butir; (4) adanya retakan, perlapisan atau belahan; (5) ukuran butir sedimen; (6) tenaga pengangkut; (7) jarak pengangkutan; dan (8) adanya dam pengendali sedimen atau bendung.

Berdasarkan pernyataan Friedman dan Sanders (1978), dapat diketahui bahwa, butiran sedimen akan lebih cepat mengalami perubahan ukuran, jika: lebih besar daripada pasir, bentuk menyudut, tidak keras, struktur berlapis, terdapat kekar, terangkut jauh atau terjebak pada aliran turbulen. Butiran sedimen yang berasal dari batuan yang telah lapuk akan lebih cepat berubahannya dibanding dengan butiran sedimen yang berasal dari batuan yang belum lapuk.

Karakteristik persebaran granulometris sedimen permukaan dasar sungai ini penting untuk dikaji, karena: (1) terletak pada wilayah yang padat penduduk (742/km²); (2) sering terjadi aliran lahar; (3) pengendalian sedimen sudah dilakukan sejak tahun 1969 (JICA, 1979); (4) penambangan pasir dan batu dapat mengganggu kelestarian dam pengendali sedimen (Widiyanto, 1995); (5) persebaran karakteristik sedimen permukaan dasar sungai dapat digunakan untuk indikator kerusakan alur sungai, selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan pengelolaan sungai.

Gejala kerusakan alur sungai yang tidak segera dilakukan pembenahan akan berpengaruh negatif terhadap kehidupan masyarakat, antara lain: (1) kegagalan panen akibat kerusakan bendung atau dam pengendali sedimen; (2) kerusakan saluran irigasi; (3) kerusakan lahan permukiman, lahan pertanian dan fasilitas umum; (4) kerawanan sosial akibat kegagalan panen atau hilangnya lapangan kerja.

Persebaran Granulometris Sedimen Permukaan Dasar Sungai Di Das Pabelan Sebelum dan Sesudah Erupsi Tanggal 26 Oktober – 6 November 2010

Karakteristik persebaran granulometris sedimen permukaan dasar sungai sebelum dan sesudah erupsi tanggal 26 Oktober 2010 – 6 November 2010, didapatkan dari hasil analisis sampel sedimen pada bagian hulu, tengah dan bagian hilir Sungai

Senowo dan Sungai Pabelan. Sungai Senowo merupakan salah satu anak Sungai Pabelan yang mendapat pasokan langsung dari lubang kepundan.

1) Persebaran besar butir sedimen permukaan dasar sungai sebelum dan sesudah erupsi

a) Persebaran besar butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo

Pada bagian hulu Sungai Senowo, persebaran besar butir sedimen sebelum erupsi ada kemiripan pola dengan persebaran besar butir sedimen setelah erupsi, yaitu tidak terjadi dominasi besar butir sedimen. Kemiripan pola persebaran besar butir sedimen tersebut terjadi karena sedimen pada bagian hulu Sungai Senowo sebelum 26 Oktober 2010 dan sesudah 6 November 2010 merupakan endapan hasil erupsi dan belum terusik (Gambar 3). Pada bagian tengah dan bagian hilir Sungai Senowo, persentase besar butir tertinggi terjadi pada Kerakal kecil. Pada bagian tengah Sungai Senowo terjadi dominasi, sedangkan pada bagian hilir Sungai Senowo tidak terjadi dominasi.

b) Persebaran besar butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan

Sungai Pabelan mendapat pasokan sedimen dari sungai-sungai yang mengalir dari Gunungapi Merbabu dan sungai-sungai yang mengalir dari Gunungapi Merapi. Sungai-sungai yang mengalir dari Gunungapi Merapi adalah Sungai Apu, Sungai Tringsing dan Sungai Senowo. Akibat pasokan sedimen dari sungai-sungai tersebut, dan adanya variasi besar butir pada setiap erupsi dan morfologi sungai, maka sedimen permukaan dasar sungai di bagian hulu, tengah dan bagian hilir bervariasi, baik sebelum erupsi maupun setelah erupsi (Gambar 4).

Ditinjau dari persebaran besar butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan, dapat diketahui bahwa, ada kemiripan pola persebaran butir sebelum erupsi Gunungapi Merapi, yaitu menceng ke arah Kerakal kecil (Kkc) atau menceng ke kanan, sedangkan setelah erupsi, grafik menceng kekiri atau ke arah Bongkah sedang (Bsd).

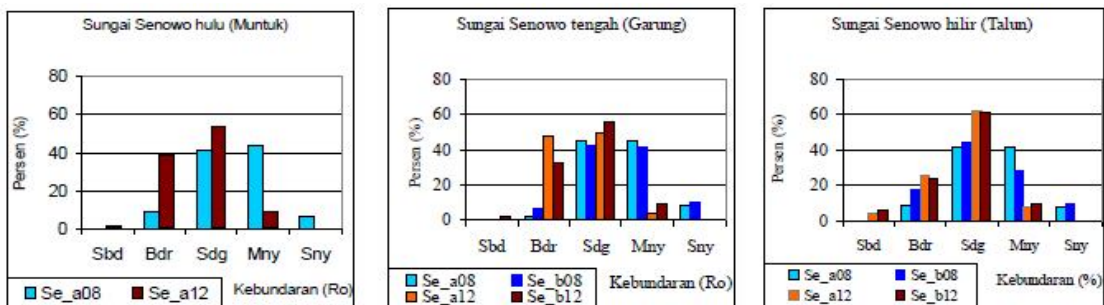
2) Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar sungai sebelum dan sesudah erupsi

a) Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo

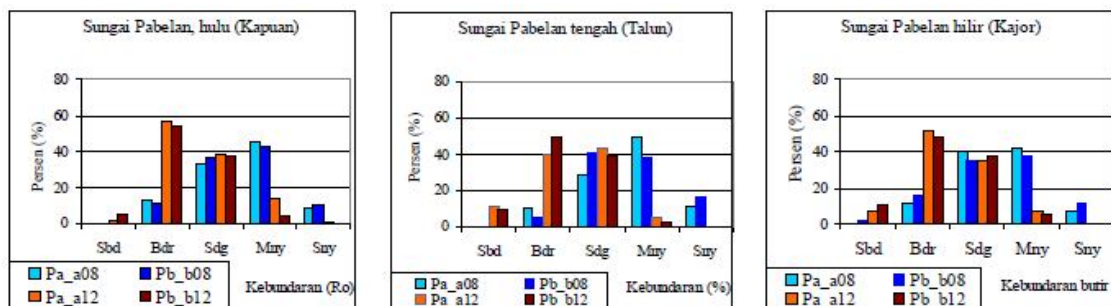
Sebelum dan sesudah erupsi, persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo pada bagian hulu, tengah dan bagian hilir terdapat kemiripan pola, yaitu: sebelum erupsi kebulatan butir sedimen berkisar antara Sedang (Sdg) hingga Sangat tidak bulat, sedangkan setelah erupsi kebulatan butir berkisar antara Sangat bulat (Sbl) hingga Sedang (Sdg). Dominasi kebulatan butir sebelum erupsi terjadi pada klas Agak bulat (Abt), setelah erupsi pada klas Bulat (Blt) (Gambar 5).

b) Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan

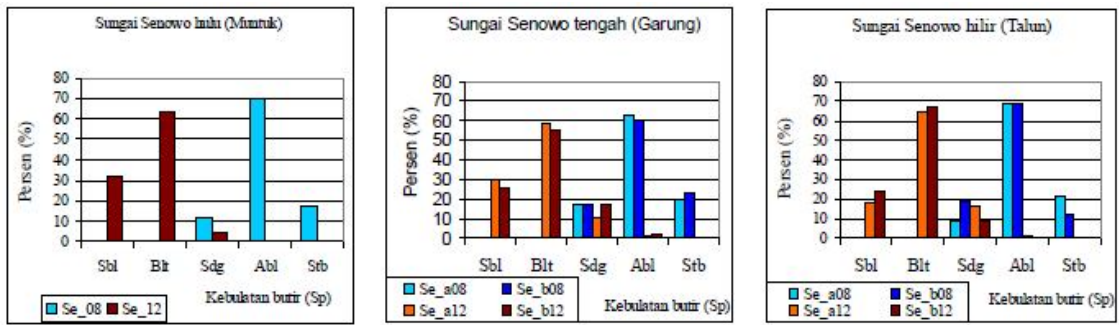
Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan, ada kemiripan dengan persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo, yaitu: sebelum erupsi kebulatan butir sedimen berkisar antara Sedang (Sdg) hingga Sangat tidak bulat (Stb) dan setelah erupsi klas kebulatan butir berkisar antara Sangat bulat (Sbl) hingga Sedang (Sdg). Dominasi kebulatan butir sedimen sebelum erupsi terjadi pada klas Agak bulat (Abt), sedangkan dominasi kebulatan butir sedimen setelah erupsi terjadi pada klas Sangat bulat (Sbl) hingga Sedang (Sdg) (Gambar 6).



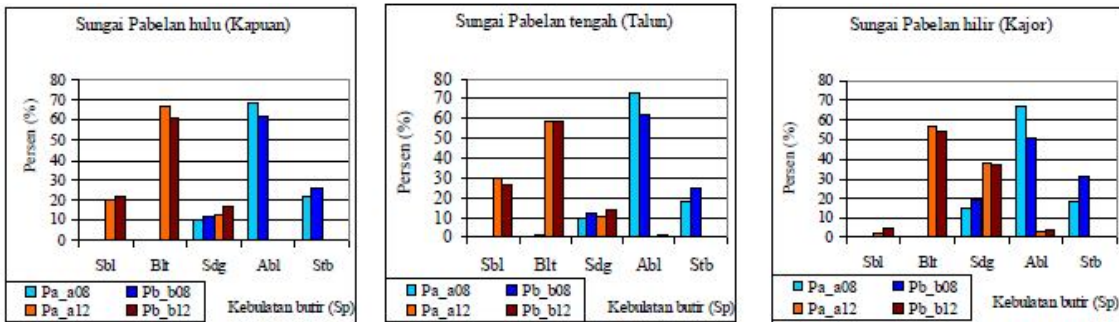
Gambar 3. Persebaran besar butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo, sebelum dan setelah erupsi 26 Oktober 2010 - 6 November 2010 (Sumber: Analisis sedimen dasar Sungai Senowo dan Sungai Pabelan)



Gambar 4. Persebaran besar butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan, sebelum dan setelah erupsi 26 Oktober 2010 - 6 November 2010 (Sumber: Widiyanto, 2013)



Gambar 5. Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo, sebelum dan setelah erupsi 26 Oktober 2010 - 6 November 2010 (Sumber: Analisis sedimen dasar Sungai Senowo dan Sungai Pabelan)



Gambar 6. Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan, sebelum dan setelah erupsi 26 Oktober 2010 - 6 November 2010 (Sumber: Widiyanto, 2013)

3) Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar sungai sebelum dan sesudah erupsi

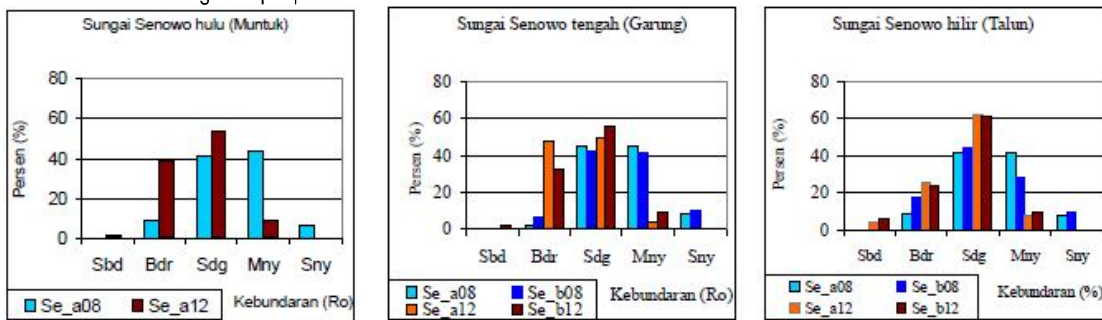
a) Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo

Ada perbedaan pola persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo pada bagian hulu, tengah dan bagian hilir sebelum dan sesudah erupsi. Sebelum erupsi kebulatan butir sedimen berkisar antara Bundar (Bdr) hingga Sangat menyudut (Sny), sedangkan setelah erupsi kebulatan butir berkisar antara Sangat bundar (Sbd) hingga Menyudut (Mny). Sebelum erupsi tidak terjadi dominasi kebulatan butir, sedangkan setelah erupsi terjadi dominasi pada Kelas Sedang (Sdg) di bagian hulu, bagian tengah di hilir dan pada bagian hilir sungai terjadi di bagian hulu dan hilir dan (Gambar 7).

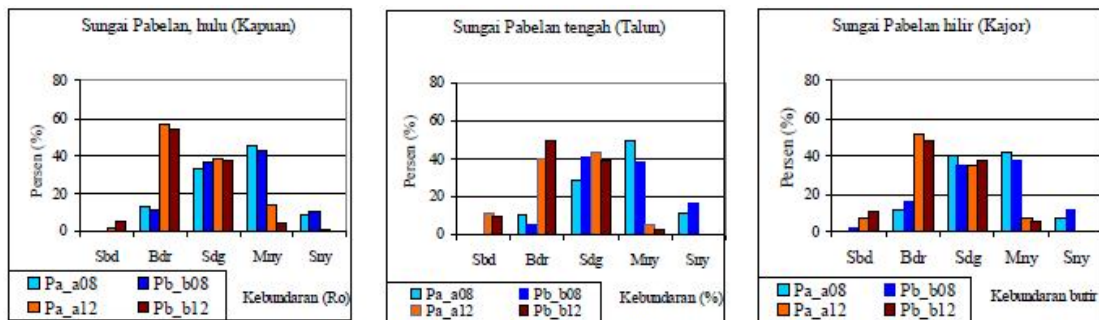
b) Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan

Sebelum persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan bagian hulu, tengah dan bagian hilir ada kemiripan pola, yaitu: menceng ke kanan, sedangkan setelah erupsi cenderung menceng ke kiri. Dominasi kebulatan butir terjadi pada kelas Menyudut (Mny) di bagian tengah Sungai Pabelan, sedangkan setelah erupsi dominasi terjadi pada bagian hulu, tengah dan bagian hilir pada kelas Bundar (Bdr) (Gambar 8).

Peningkatan persentase kelas Bundar (Bdr) setelah erupsi Gunungapi Merapi disebabkan oleh butiran sedimen yang termasuk Sangat bundar (Sbd), dan Bundar (Bdr) sebelum erupsi telah diambil oleh penambang, karena butiran sedimen tersebut mudah dipecah untuk digunakan sebagai bahan bangunan. Setelah erupsi, terdapat butiran sedimen yang Sangat bundar (Sbd) dan Bundar (Bdr) mudah dipecah dan belum diambil oleh penambang, sehingga persentase kelas kebulatan sebelum dan sesudah ditambang terdapat perbedaan.



Gambar 7. Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo, sebelum dan setelah erupsi 26 Oktober 2010 - 6 November 2010 (Sumber: Analisis sedimen dasar Sungai Senowo dan Sungai Pabelan)



Gambar 8. Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan, sebelum dan setelah erupsi 26 Oktober 2010- 6 November 2010 (Sumber : Widiyanto, 2013)

KESIMPULAN

1) Persebaran besar butir sedimen permukaan dasar sungai.

Kemiripan pola persebaran besar butir sedimen di bagian hulu Sungai Senowo sebelum dan setelah erupsi sebagai akibat dari belum terusiknya sedimen tersebut. Sebelum erupsi terjadi dominasi besar butir sedimen pada kelas Kerakal kecil (Kkc) di bagian tengah, sedangkan di bagian hilir persentase tertinggi (42%) terjadi pada Kerakal kecil (Kkc), karena proses yang dominan adalah proses fluvial. Pada Sungai Pabelan, ada kemiripan pola persebaran butir sebelum erupsi, yaitu menceng ke arah Kerakal kecil (Kkc) atau menceng ke kanan, sedangkan setelah erupsi, grafik menceng kekiri atau ke arah Bongkah sedang (Bsd)

2) Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar sungai.

Sebelum erupsi pola persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo dengan bentuk grafik menceng ke arah Agak bulat (Abl) ke kanan, sedangkan setelah erupsi pola persebaran kebulatan butir sedimen dengan bentuk grafik menceng arah Bulat (Blt) atau ke kiri. Dominasi kebulatan butir terjadi sebelum erupsi pada kelas Agak bulat (Abl), sedangkan setelah erupsi dominasi kebulatan butir terjadi pada kelas Bulat (Blt). Ada kemiripan persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan dengan persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo, yaitu: sebelum erupsi bentuk grafik menceng ke kanan, sedangkan setelah erupsi bentuk grafik menceng ke kiri. Dominasi kebulatan butir sebelum erupsi terjadi pada bagian hulu, tengah dan bagian hilir pada kelas Agak bulat (Abl), sedangkan setelah erupsi dominasi kebulatan butir terjadi pada kelas Bulat (Blt).

3) Persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar sungai

Pada bagian hulu dan bagian tengah Sungai Senowo, persebaran kebulatan butir sedimen sebelum erupsi menceng ke kanan, sedangkan setelah erupsi bentuk grafik menceng ke kiri. Dominasi kebulatan butir sedimen terjadi sesudah erupsi pada kelas Sedang (Sdg). Pada bagian hilir Sungai Senowo, bentuk grafik sebelum dan sesudah erupsi mendekati kurve normal. Dominasi kebulatan butir terjadi sesudah erupsi, pada kelas Sedang (Sdg). Ada kemiripan persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Pabelan dengan persebaran kebulatan butir sedimen permukaan dasar Sungai Senowo pada bagian hulu dengan bagian tengah, yaitu sebelum erupsi bentuk grafik menceng ke kanan, sedangkan sesudah erupsi bentuk grafik menceng ke kiri. Persebaran kebulatan butir sedimen pada bagian hilir Sungai Senowo dengan bentuk grafik mendekati kurve normal, sedangkan pada bagian hilir Sungai Pabelan dengan bentuk grafik sebelum erupsi menceng ke kanan dan sesudah erupsi menceng ke kiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen RW. van. 1970. *The Geology of Indonesia*, Vol IA. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. The Hague.
- Bronto Sutikno, Dewi Sayudi dan Gendoet Hartono. 1996. Variasi Luncuran Awan Panas Gunungapi Merapi dan Bahayanya. *Proceedings of the 25th Annual Convention of The Indonesian Association of Geologist*. Diselenggarakan Oleh Sekolah Tinggi Teknologi Nasional dengan Akademi Ilmu Pengetahuan Yogyakarta.
- Chamley, 1990. *Sedimentology*, Springer-Verlag.
- Friedman G M and J E. Sanders. 1978. *Principles of Sedimentology*. John Wiley. Harper & Row, Publishers, New York.
- Katili, 1980. *Geotectonic of Indonesia*. A Modern Review. Jakarta. Directorate General Of Mines.
- Lavigne F., J.C. Thouret., B. Vouight., K. Young., R. LaHusen., J. Marso., H. Suwa. A. Sumaryono. D.S. Suyudi. M. Dejean. 2000-a . Instrumental Lahar Monitoring at Merapi Volcano. Central Java. Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research Elsevier* 100(2000).
- Lavigne F., JC. Thouret, B Voight, H. Suwa, and Sumaryono. 2000-b, Lahars at Merapi Volcano, Central Java: an overview. *Journal of Volcanology and Geothermal Research Elsevier* 100(2000).
- Lavigne dan Suwa, 2004. Contrasts between debris flows, hyperconcentrated flows, and stream flows at a channel of Mt Semeru, East Java, Indonesia. *Geomorphology*. XX, 2004,
- Newhall C.G, S. Bronto, Alloway. N.G Blnks. I. Bahar. M.A. del Marmol. R.D. Hadisantono. R.T. Holcomb. J. Mc.Geehin. J.N. Miksic. M. Rubin. S.D. Sayudi. R. Sukhyar. S. Andreastuti. R.I. Tilling. R. Torley. D. Trimble. A.D. Wirakusumah. 2000. 10.000 Years of explosive eruptions of Merapi Volcano, Central Java : archeological and modren implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100(2000).

- Padang, N, Van, 1951. *Catalogue of the Active Volcanoes Of The World Including Solfatara Fields*. Part I Edited by The International Volcanological Association. Napoli. Italia.
- Padang N van. 1983. *History Of The Volcanology in the Former Netherlands East Indies*. *Scripta Geologica*. Rijksmuseum van Geologie en Mineralogy.
- Peet R. 1998. *Modern Geographical Thought*. Blackwell. Oxford.
- Sutikno, 2012. Geomorfologi Sungai lahar Pasca Erupsi Merapi 2010. Prosiding Workshop Mitigasi Bencana Lahar Gunung Merapi Pasca Erupsi 2010. Kerjasama Kementerian Pekerjaan Umum (PU), Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM) dan Pemerintah Daerah Jawa Tengah.
- Whittow J, 1984, *Dictionary of Physical Geography*, The Penguin. New York.
- Voight, EK. Constantine, S. Siswodjojo, R. Torley. 2000. Historical Eruptions of Merapi Volcano Java, Indonesia. 1768 – 1998. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100(2000).
- Widiyanto, 1995, *Kerusakan Bangunan Pengendali Sedimen Akibat penambangan Pasir di Kali Putih, Kabupaten Magelang*. Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Widiyanto, 2013. Karakteristik Persebaran Granulometris Sedimen Permukaan Dasar Sungai Di Das Pabelan, Provinsi Jawa Tengah. *Disertasi*. Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Zen MT. 2006. Introduction of tectonic and / or volcanic activity (Leading to earthquakes / or volcanic eruption) by Fluoresen spectra of groundwater. Proceedings International Interdisciplinary Conference Volcano Internal gathering UPN. Yogyakarta
- Zuidam and Zuidam Cancelado. 1979. *Terrain Analysis and Classification Using aerial photographs*. ITC Textbook. VII-6. Enschede.