

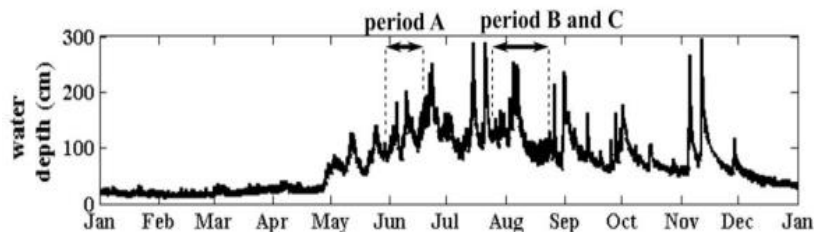
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut referensi yang didapatkan, penelitian mengenai pemantauan angkutan sedimen dasar dengan menggunakan *hydrophone* di Terjunan Gemawang, Sungai Code, Kecamatan Mlati, Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta belum pernah dilakukan sebelumnya. Sehingga pada penulisan laporan akhir ini penulis melakukan pendekatan pada beberapa penelitian yang membahas mengenai angkutan sedimen dasar.

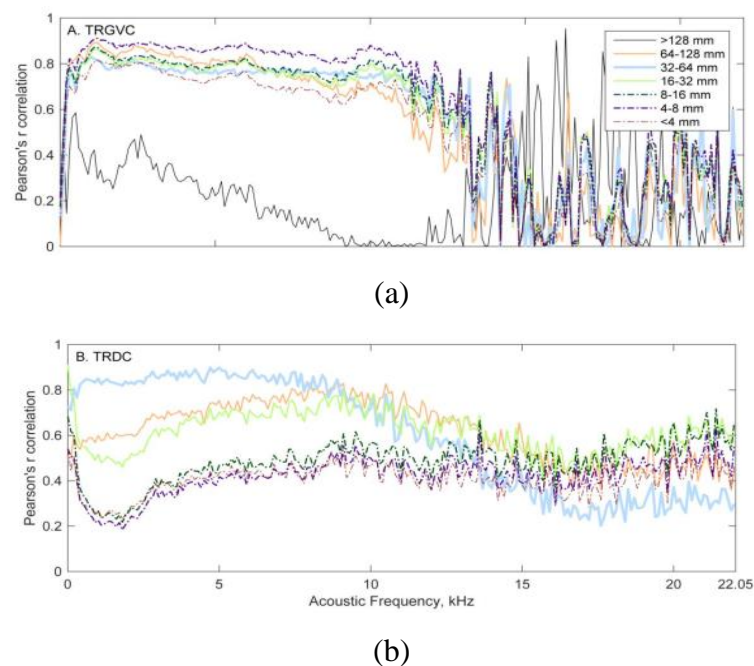
Geay dkk. (2017) melakukan penelitian yang berjudul “*Passive acoustic monitoring of bed load discharge in a large gravel bed river*”. Penelitian ini membahas tentang pemantauan akustik beban dasar dengan menggunakan *hydrophone* yang berada pada dasar sungai. Teknologi ini mendeteksi adanya gelombang akustik pada lingkungan sungai dan khususnya suara yang disebabkan karena adanya tabrakan antar partikel pada dasar sungai. Penelitian ini dilakukan pada Sungai Drau dengan batuan Alpen. Sinyal *hydrophone* dan *geophone* dapat berkorelasi dengan baik. Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui data *hydrograf* tahunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan *hydrophone* untuk memantau angkutan material pada dasar sungai. Analisis dari pengukuran menunjukkan bahwa sensor sensitif terhadap pergerakan beban dasar tidak hanya secara lokal, tetapi juga yang berjarak 5-10 meter (10%-20% dari lebar sungai).



Gambar 2.1 Data *hydrograf* tahunan

Marineau dkk. (2015) melakukan penelitian yang berjudul “*Calibration of sediment-generated noise measured using hydrophones to bedload transport in the Trinity River, California, USA*”. Penelitian ini membahas tentang korelasi

antara muatan kasar ( $> 16$  mm), halus ( $< 16$  mm), dan total angkutan sedimen dasar dengan menggunakan *hydrophone*. Alat ini digunakan untuk merekam tangkapan bunyi yang dihasilkan dari benturan angkutan sedimen tersebut (umumnya berukuran lebih besar dari 8 mm). Metode *Sediment-Generated Noise (SGN)* secara visual lebih bekerja dengan baik daripada model berbasis debit. Pada *Trinity River above Grass Valley Creek (TRGVC)* persentase muatan kasar sebesar 71% dibandingkan dengan *Trinity River at Douglas City (TRDC)* yang hanya sebesar 51% muatan kasar. Hasil dari pengujian tersebut, dapat dilihat pada Gambar 2.2 (*TRGVC (A)* dan *TRDC (B)*)



Gambar 2.2 Korelasi *SGN* ke pengangkutan muatan fungsi frekuensi akustik

Rickenmann dkk. (2013) melakukan penelitian yang berjudul “*Bedload transport measurements with impact plate geophones: comparison of sensor calibration in different gravel-bed streams*”. Pengukuran dilakukan dengan sistem *Swiss Plate Geophone (SPG)* di lima aliran gunung berkerikil. Sensor ini merekam pergerakan partikel-partikel yang diangkut. Untuk melakukan kalibrasi, pengukuran angkutan material dilakukan secara bersamaan. Nilai ringkasan utama menunjukkan korelasi yang baik dengan massa muatan yang diangkut. Jumlah impuls yaitu jumlah puncak di atas nilai ambang yang ditentukan sebelumnya dari sinyal keluaran, dan digunakan sebagai parameter ringkasan yang kuat. Jumlah rata-rata impuls per satuan berat muatan tampaknya tergantung pada kecepatan

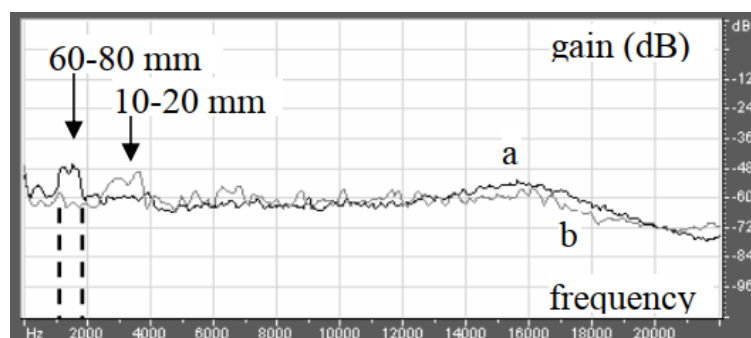
aliran rata-rata ( $V_w$ ) selama kalibrasi, yaitu kisaran  $2 \text{ m/s} < V_w < 7 \text{ m/s}$ . Kecepatan aliran yang lebih besar memungkinkan mengangkut partikel yang lebih besar. Percobaan *flume* menunjukkan bahwa jumlah impuls untuk massa *bedload* yang diberikan adalah fungsi dari ukuran partikel, yaitu dengan diameter mencapai 40 mm. Analisis pengukuran kalibrasi menunjukkan bahwa sinyal ini juga berisi beberapa informasi mengenai distribusi ukuran butir dari muatan.

Rickenmann dkk. (2017) melakukan penelitian yang berjudul “*Bed-Load Transport Measurement with Geophone and Other Passive Acoustic Method*”. Penelitian ini mengulas mengenai teknik pengukuran akustik yang diuji dengan percobaan *flume* dan pengaturan lapangan. Pengukuran ini berhasil di kalibrasi untuk fluks beban total yang umumnya membutuhkan pengukuran transportasi *bedload* di lapangan. Dalam beberapa studi, hubungan kalibrasi digunakan untuk mengidentifikasi ukuran partikel dan menentukan frekuensi karakteristik untuk seluruh campuran ukuran butir pada *hydrophone*. Beberapa teknik pengukuran akustik digunakan untuk menentukan pengangkutan kelas ukuran butir. Percobaan *flume* dapat diterapkan ke lokasi lapangan yang memiliki pengukuran kalibrasi langsung dan independen. Sensor dan pelat baja dikelilingi oleh air. Dalam serangkaian tes *flume*, empat kelas ukuran butir yang digunakan yaitu pasir halus (0,063-0,2 mm), pasir sedang (0,2-0,63 mm), pasir kasar (0,63-2 mm), dan kerikil (2-4 mm).

Rickenmann dkk. (2017) melakukan penelitian yang berjudul “*Bedload transport monitoring with acoustic sensors in the Swiss Albula mountain river*”. Pengukuran angkutan *bedload* dengan sensor akustik diperoleh pada musim panas tahun 2015 pada Sungai Albula di Swiss. Sistem ini memberikan estimasi tidak langsung dari pengangkutan muatan dalam aliran air. Untuk stasiun pengukuran sungai Albula, jumlah *IMPG* yang tercatat pada musim panas tahun 2015 adalah sekitar  $7 \times 10^7$  impuls. Situs pengukuran *geophone* terletak sekitar 1,2 km di hulu dan kemiringan saluran rata-rata adalah sekitar 1,2%. Diketahui dari studi sebelumnya dengan sistem *Swiss Plate Geophone (SPG)*, bahwa jumlah impuls dengan sensor hanya mendeteksi partikel yang memiliki ukuran lebih besar dari 20 mm.

Rickenmann dkk. (2017) melakukan penelitian yang berjudul “*Bedload transport measurements with impact plate geophones in two Austrian mountain streams (Fischbach and Ruetz): system calibration, grain size estimation, and environmental signal pick-up*”. Sistem *Swiss Plate Geophone (SPG)* adalah teknik pengukuran muatan yang telah dipasang lebih dari 20 pada suatu aliran, terutama pada Pegunungan Alpen Eropa. Pengukuran kalibrasi dilakukan pada dua aliran gunung yang berbeda di Austria. Aliran Fischbach dan Ruetz dicirikan sebagai limpasan penting dan pengangkutan muatan selama musim pencairan salju. Proses analisis kalibrasi terdiri dari penggunaan angkutan dasar dan tingkat *impuls* geophone. Proses kalibrasi ini menghasilkan hubungan hukum kekuatan dengan koefisien dan eksponen yang berbeda untuk tingkat ukuran angkutan sedimen. Berdasarkan hasil dari studi *flume*, respon sinyal mampu membaca ukuran butir yang kecil hingga butir yang memiliki ukuran sekitar 40 mm.

Belleudy dkk. (2014) melakukan penelitian yang berjudul “*Monitoring of bedload in river beds with an hydrophone: first trials of signal analyses*”. Penelitian ini membahas mengenai upaya pendahuluan dalam menggunakan deteksi akustik pasif dari pengangkutan muatan dasar. *Hydrophone* mencatat bunyi disekitarnya akibat aliran air yang mengangkut muatan dasar. Dalam percobaan ini, sedimen memiliki ukuran diameter dalam kisaran 60-80 mm dan terdapat puncak kecil yang memungkinkan adanya perbedaan kerikil. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat puncak gelombang didapatkan karena perbedaan kerikil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.

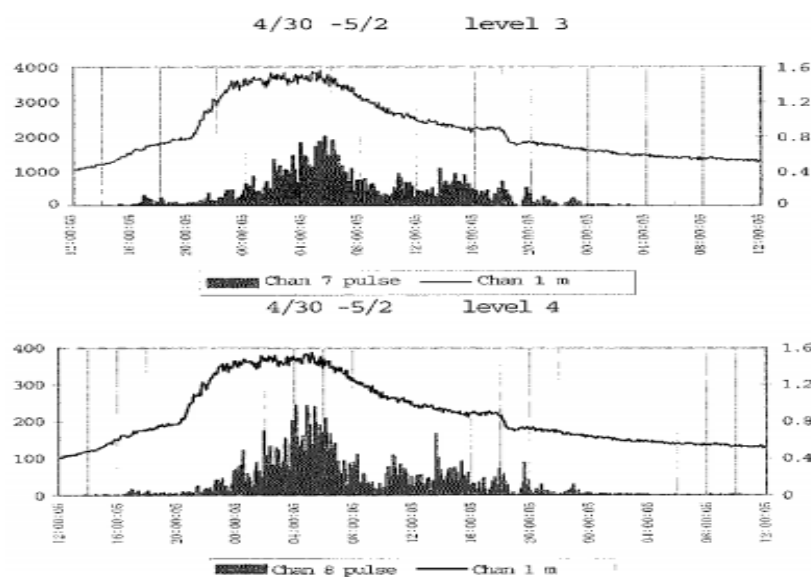


Gambar 2.3 *Pulse* perbedaan ukuran kerikil

Mizuyama dkk. (2011) melakukan penelitian yang berjudul “*Sediment monitoring with a hydrophone in mountain torrents*”. Pada penelitian ini dilakukan pada *torrents* gunung dan menggunakan sistem pemantauan sedimen

yang terdiri dari pengukuran ketinggian air , parameter kekeruhan, dan pipa *hydrophone* yang dipasang pada area drainase dan empat anak sungai dalam semburan gunung di Jepang. Setiap *hydrophone* dilapangan dikalibrasi langsung menggunakan saluran kecil. Hasil menunjukkan bahwa pelepasan sedimen tidak hanya sesuai dengan kondisi aliran, tetapi juga dengan jumlah sedimen yang bergerak dan karena perbedaan dalam produksi sedimen. Dengan kata lain, laju transport sedimen tidak dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan transport sedimen. Salah satu kelemahan dari *hydrophone* yaitu ketika laju pelepasan sedimen tinggi, *hydrophone* tidak dapat menghitung jumlah *pulse* dengan benar.

Mizuyama dkk. (2003) melakukan penelitian yang berjudul “*Measurement of bed load with the use of hydrophones in mountain torrents*”. Pada penelitian ini pengangkutan sedimen dipengaruhi oleh produksi sedimen seperti tanah longsor, erosi tepi, dan erosi dasar. Oleh karena itu laju angkutan sedimen tidak dapat diperkirakan secara teoritis menggunakan persamaan sedimen. Sampel angkutan yang telah digunakan pada sungai tidak berlaku pada torrents gunung karena memiliki kecepatan aliran yang tinggi, sehingga *hydrophone* lebih cocok dipasang pada torrent gunung. Frekuensi dari partikel dan kerikil yang membentur pipa akan terbaca oleh *hydrophone*. Pembacaan *pulse hydrophone* akan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rekaman *pulse hydrophone* setiap 5 menit

Krein dkk. (2016) melakukan penelitian yang berjudul “*Listen to the sound of moving sediment in a small gravel-bed river*”. Penelitian ini bertujuan untuk menjawab apakah penggunaan pengukuran akustik dapat meningkatkan karakteristik bedload pada sungai yang memiliki debit air yang rendah. Untuk pengukuran angkutan dilakukan dengan pemasangan *hydrophone* pada sisi bawah pelat baja, sehingga dapat merekam dampak sedimen melalui getaran akustik pada permukaan pelat. Sinyal akustik berkorelasi dengan baik dengan jumlah material yang diangkut. *Hydrophone* terbukti mampu mencatat angkutan butiran dengan diameter 8 mm dan memungkinkan turun ke partikel pasir yang berukuran 1-2 mm.

## **2.2. Keaslian Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengkalibrasi *hydrophone* dengan menggunakan material berupa kerikil yang memiliki ukuran yang berbeda. Ukuran material yang mengenai pipa *hydrophone* akan menghasilkan data berupa *pulse* yang berbeda pula. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan *hydrophone* dalam menangkap sinyal yang berasal dari material dengan ukuran < 40 mm. Penelitian angkutan sedimen juga pernah dilakukan oleh Rickenmann (2017), akan tetapi pada penelitian tersebut menjelaskan bahwa respon sinyal mampu membaca ukuran butir hingga 40 mm.

## **2.3. Dasar Teori**

### **2.3.1. Sungai**

Sungai merupakan torehan di permukaan bumi yang merupakan penampung dan penyalur alamiah aliran air, material yang dibawa dari bagian hulu ke bagian hilir suatu daerah pengaliran ke tempat yang lebih rendah dan akhirnya bermuara ke laut (Soewarno,1991). Sungai merupakan bagian dari siklus hidrologi, dimana air pada sungai berasal dari hujan, mata air, embun, limpasan bawah tanah. Jika aliran sungai berasal dari daerah kaki gunung api, sungai tersebut biasanya membawa material vulkanik hasil dari erupsi gunung api tersebut dan terendap pada suatu tempat di sepanjang jalur sungai tersebut. Sungai adalah jalan air alami yang mengalir ke danau, sungai, laut, dan samudra. Sungai juga membawa dan menampung air dan material yang diangkut dari bagian hulu. Kota Yogyakarta

secara umum dialiri oleh 3 sungai, yakni Sungai Code, Sungai Winongo, dan Sungai Gajahwong. Material-material yang terbawa arus sungai berasal dari erupsi Gunung Merapi dan tanah yang terlepas dari induk tanahnya akibat arus sungai.

### **2.3.2. Sungai Code**

Sungai Code memiliki panjang sekitar 45 km. Sungai Code juga merupakan anak dari sungai Opak yang melintasi daerah Kota Yogyakarta. Sungai Code memiliki luas DAS (Daerah Aliran Sungai) sebesar  $\pm 62,191$  km<sup>2</sup>. Sungai code bermata air di daerah kaki Gunung Merapi dan bermuara pada Sungai Opak kemudian berlanjut ke Samudera Indonesia.

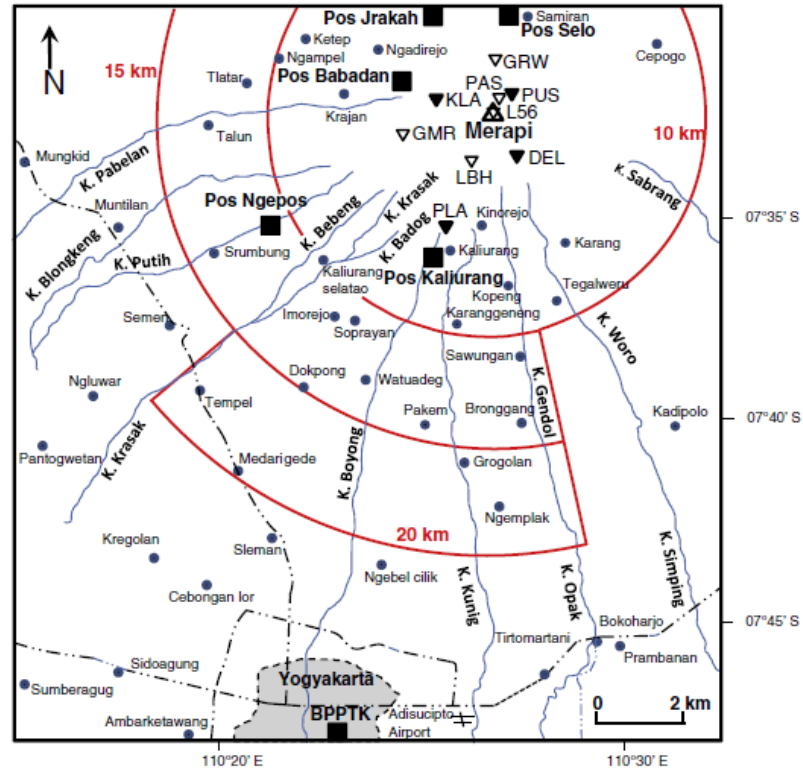
Sungai Code memiliki banyak manfaat bagi masyarakat sekitar yang bertempat tinggal di daerah sungai tersebut. Adapun pemanfaatan dari Sungai Code yaitu untuk memenuhi keperluan sehari-hari masyarakat di daerah sungai tersebut, sebagai sumber irigasi pertanian dan perikanan.

### **2.3.3. Erupsi Merapi**

Gunung Merapi yang berada di wilayah Jawa Tengah dan Yogyakarta adalah salah satu gunung aktif di dunia. 20 September 2010, gunung ini meningkat statusnya dari Normal menjadi Waspada, dan selanjutnya ditingkatkan menjadi Siaga (Level III) pada 21 Oktober 2010. Sejak 25 Oktober 2010, kegiatan Gunung Merapi dari Siaga menjadi Awas (Level IV), dan pada 26 Oktober 2010 mengalami erupsi awal hingga awal November 2010. Erupsi semacam ini memiliki siklus rata-rata 100-150 tahun sekali (Mulyaningsih (2006) dalam Aisyah dan Purnamawati (2010)). Erupsi menyebabkan tergusurnya sepertiga dari satu juta orang dan menyebabkan tewasnya 400 nyawa.

Erupsi Gunung Merapi yang terjadi pada tahun 2010 menghasilkan sekitar 130 juta m<sup>3</sup> material, baik berupa batuan maupun pasir (Aisyah dan Purnamawati, 2012). Material ini menyebar dan terbawa aliran Kali yang berhulu di Gunung Merapi, seperti Kali Oyo, Kali Opak, Kali Putih, Kali Krasak, Kali Bedok, Kali Lamat, Kali Bebeng, Kali Gendol, Kali Apu, Kali Senowo, Kali Trising, Kali Broyong, Kali Woro, dan Kali Apu. Gambar 2.5 menunjukkan sungai-sungai yang berhulu di Merapi dan membawa material dari letusan ketika hujan terjadi.

Adanya pengangkutan material oleh sungai dapat mengakibatkan longsor, penumpukan dan meluapnya lahar, dan banjir lumpur (Aisyah dan Purnamawati, 2012).



Gambar 2.5 Aliran sungai dengan hulu di Gunung Merapi (sumber : Surono, dkk, 2012)

Gunung Merapi selalu mengalami erupsi hampir setiap periode, yaitu berkisar 2-7 tahun. Aktivitas erupsi gunung memiliki ciri khas dengan mengeluarkan lava pijar dan awan panas. Banjir lahar terjadi akibat erupsi gunung Merapi mengakibatkan perubahan fisik dari penampang Sungai Code. Hal ini dikarenakan volume total material yang dikeluarkan saat erupsi Merapi mencapai lebih dari 130 juta  $m^3$  dan ketika musim hujan membawa material dari letusan merapi.

#### 2.3.4. Angkutan Sedimen

Sedimen secara umum merupakan tanah atau bagian-bagian tanah yang terangkut oleh air dari suatu tempat yang mengalami erosi pada suatu daerah aliran sungai (DAS) dan masuk kedalam suatu badan air. Proses terjadinya sedimentasi yaitu pengendapan sedimen hasil erosi yang terbawa oleh aliran air pada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat (Arsyad, 2000). Berat,



bentuk dan ukuran dari partikel akan berpengaruh terhadap jumlah besaran dari angkutan sedimen. Proses dari sedimentasi yaitu erosi, pengangkutan (*transport*), pengendapan (*deposition*), dan pemadatan (*compaction*).

Muatan sedimentasi terbagi menjadi muatan sedimen dasar (*bed load*), muatan sedimen melayang (*suspend load*), dan sedimen cuci (*wash load*).

#### **2.3.4.1. Sedimen dasar (*bed load*)**

*Bed load* yaitu keadaan partikel kasar yang selalu bergerak sepanjang dasar aliran sungai. *Bed load* terjadi pada ukuran sedimen yg lebih besar, contohnya seperti kerikil, pasir, bongkah, dan kerakal. Partikel pada *bed load* bergerak dengan cara meluncur atau berguling pada dasar sungai. Transpor sedimen pada tipe ini umumnya terjadi pada ukuran butir sedimen yang relatif besar. Muatan pada dasar selalu bergerak, sehingga menyebabkan terjadinya degradasi dan aggradasi pada sepanjang aliran yang disebut dengan alterasi dasar sungai.

#### **2.3.4.2. Sedimen melayang (*suspend load*)**

*Suspend load* yaitu partikel yang bergerak dalam pusaran aliran yang cenderung terus menerus melayang bersama aliran. Pada *suspend load* hanya material halus saja yang dapat diangkut oleh aliran air. *Suspend load* terdiri dari butiran pasir-pasir halus yang didukung oleh interaksi dari dasar sungai yang selalu mendorong ke atas akibat adanya turbulensi dari aliran sungai. *Suspend load* terbagi menjadi tiga keadaan, yaitu:

- a. Apabila tenaga gravitasi sedimen lebih besar daripada tenaga turbulensi aliran maka partikel sedimen akan mengendap dan akan terjadi pendangkalan pada dasar sungai.
- b. Apabila tenaga gravitasi sedimen sama dengan tenaga turbulensi aliran maka akan terjadi keadaan seimbang dan partikel sedimen tersebut tetap konstan terbawa aliran sungai ke arah hilir.
- c. Apabila tenaga gravitasi sedimen lebih kecil daripada tenaga turbulensi aliran maka dasar sungai akan terkikis dan akan terjadi penggerusan pada dasar sungai.

#### 2.3.4.3. *Wash load*

*Wash load* atau sedimen cuci terdiri dari partikel lanau atau debu yang terbawa terbawa oleh aliran air dan tetap melayang hingga mencapai laut, sungai, atau genangan air lainnya. Sedimen jenis ini tidak terlalu berpengaruh terhadap sifat sungai meskipun memiliki jumlah yang banyak, terutama pada saat musim hujan. Sedimen ini sering terjadi pada musim kemarau dan berasal dari hasil erosi permukaan tanah pada daerah yang memiliki kecepatan aliran yang tinggi dan akan mengendap pada suatu tempat yang memiliki kecepatan aliran rendah.

#### 2.3.5. *Hydrophone*

*Hydrophone* adalah tipe pipa baja Jepang yang berfungsi untuk pemantauan sedimen dasar dengan cara merekam partikel sedimen dengan mikrofon (Mizuyama, 2011). Apabila suatu sedimen dasar mengenai pipa besi yang berada pada dasar saluran, mikrofon akan mendeteksi benturan tersebut lalu dikonversikan menjadi gelombang atau *pulse*. *Hydrophone* dapat digunakan dalam pemantauan angkutan sedimen di sungai-sungai curam. Pengukuran debit angkutan sedimen dasar sesuai dengan kenaikan jumlah *pulse*.

Laboratorium Hidraulika Universitas Gadjah Mada bekerja sama dengan Kyoto University memasang alat *hydrophone* pada terjunan Gemawang, Kecamatan Mlati, Sleman. Saat ini *hydrophone* yang berada pada terjunan Gemawang dimiliki oleh Universitas Gadjah Mada, dan dipegang oleh kepala laboratorium *hydraulika* UGM. Penelitian menggunakan *hydrophone* telah dilakukan pada beberapa negara besar seperti Jepang, Perancis, dan negara besar lainnya. Penggunaan sistem untuk mengkaji debit angkutan sedimen ini masih belum banyak digunakan di Indonesia. Untuk memperoleh data *hydrophone* pada segmen Gemawang dapat diakses pada <http://data.hydraulic.lab.cee-ugm.ac.id/bo-awlr-02/>.