

## **Perubahan Kepekatan Sedimen dan Histerisis Semasa Kejadian Ribut Di Lembangan Sungai Ara dan Sungai Relau, Pulau Pinang**

*Sediment Concentration Changes and its Concentration during Storm in Some Southwest Penang River Basin*

**Sumayyah Aimi Mohd Najib, Zullyadini A.Rahaman & Wan Ruslan Ismail**

*Pusat Pengajian Ilmu Kemanusiaan, Universiti Sains Malaysia, 11800 Minden, Pulau Pinang  
e-mel: sumayyah\_aimi@yahoo.com*

---

### **Abstrak**

'Kesihatan' sesebuah lembangan saliran akan dicerminkan oleh kualiti air yang baik. Warna dan kekeruhan air adalah salah satu parameter yang mencerminkan sesuatu kualiti air dan ia berkaitan dengan kepekatan sedimen terampai yang terdapat di dalamnya. Sedimen yang terhasil daripada proses hakisan di dalam sesebuah kawasan tadahan akan memasuki anak-anak sungai dan tasik dan beban sedimen serta kekeruhan air akan menyebabkan banyak masalah kepada organisma hidup di dalam air. Pada masa kini, tanah telah menjadi salah satu sumber yang dihadkan di Pulau Pinang disebabkan oleh keadaan topografinya yang berbukit dan tanah rata yang agak terhad. Pulau Pinang merupakan sebuah bandar perindustrian yang pesat serta padat dan dalam rangka menghadapi cabaran masa depan yang disebabkan oleh kepesatan pembangunan ekonomi dan terdapat permintaan yang tinggi bagi keperluan kawasan tanah rata. Pelbagai aktiviti dan pembukaan tanah ini seterusnya memberi sumbangan terhadap kepekatan jumlah sedimen seterusnya menjejaskan kesihatan kawasan tadahan tersebut. Artikel ini membentangkan kajian awal dari Januari sehingga Disember 2012 di beberapa lembangan sungai dan dapatan semasa kejadian ribut ke atas perubahan kepekatan sedimen terampai di kawasan tadahan Sungai Ara dan Sungai Relau.

### **Kata kunci**

Histerisis, guna tanah, kepekatan sedimen terampai

### **Abstract**

*The 'catchment health' will be reflected by a good water quality. Water colour and turbidity is one of the parameter defining the water quality, and it is related sediment concentrations. Sediments entering creeks, rivers and lakes are controlled by eroded soil in the catchment. The sediment load and turbidity of the water caused problems to the living organisms in the water, and there are many land disturbing activities in catchment areas that could add an enormous amount of sediment to rivers. Nowadays, land has become one of limited resources in Penang due to the topography of the hilly and flat area. Penang Island is a city of rapid with industrialization and*

*development density. In order to face future challenges caused by rapid economic development, high demand for flat land requirements. Land clearing activities contributes sediment, affecting the health of the catchment area. This paper present a preliminary study using storm event data from January to December 2012 in two urbanising catchment in Penang Island and the variation of suspended sediment concentrations in Ara rivers and Relau rivers.*

### **Keywords**

Hysteresis, landuse, sediment concentrations

---

## **Pengenalan**

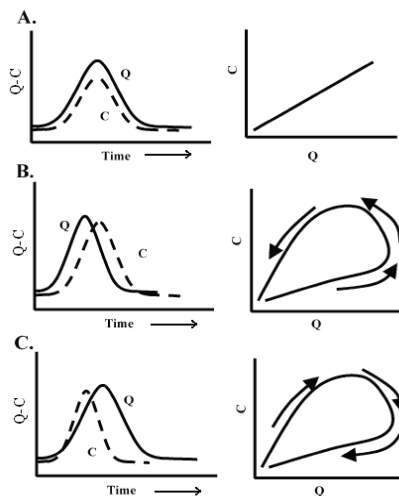
Peningkatan populasi penduduk yang semakin pesat membawa kepada pembukaan kawasan baru yang berterusan, hal ini akan memberi tekanan ke atas sumber asli. Tumbuhan sebagai litupan tanah sememangnya dapat mengurangkan berlakunya hakisan, namun jika berlaku perubahan guna tanah rentetan daripada pembangunan semasa, kadar hakisan akan meningkat dengan pantas. Kini kemerosotan sumber nilai tanah dan hakisan tanah merupakan masalah global (Oeurng *et al.*, 2010). Kemerosotan tanah yang serius tidak lagi bermanfaat kepada hidupan dan hakisan bukan sahaja merosakkan alam sekitar, tetapi juga menyebabkan kerugian besar kepada sesebuah negara. Dalam usaha untuk membaik pulih masalah tersebut, penilaian serta penyelesaian di peringkat kawasan tadahan dan kajian perubahanhguna tanah serta kesannya terhadap hakisan tanah perlu dalam merancang pengurusan sumber air (Walker & Reuter, 1996). Kawasan tropika lembap cenderung untuk mengalami kemerosotan tanah yang serius disebabkan oleh jumlah hujan yang banyak (Wan Ruslan, 1996).

Pengangkutan sedimen dari kawasan tadahan membawa kepada kemusnahan akuatik, pemendapanmdalam sistem takungan dan dalam lingkungan pengangkutan bahan pencemar. Kebanyakan pengangkutan dibawa semasa kejadian ribut dan kejadian ribut tropika memainkan peranan yang amat penting dalam menentukan jumlah sedimen daripada sistem tadahan (Schumm, 1977; Wan Ruslan, 1996). Ini adalah disebabkan oleh sifat fizikal hujan ribut tropika yang sangat lebat dengan keamatan kelebatan yang tinggi dalam tempoh yang singkat (Leigh & Low, 1973 dipetik dalam Wan Ruslan, 2000). Penyampaian sedimen terampai semasa kejadian ribut telah memberi peningkatan kepada kesan histerisis.

Kesan histeresis telah digunakan untuk mengenal pasti aliran dan jenis hakisan yang berbeza, penghantaran sedimen dan sumber kawasan sedimen tersebut (Seeger *et al.*, 2004). Piest *et al.*, 1975; Klein, 1984; DiCenzo dan Luck, 1997; Williams 1989 mengenal pasti lima kemungkinan bentuk keluk histeritik. Hubungan histerisis

paling biasa adalah mengikut arah jam. Pola ini adalah akibat daripada kejadian luahan dan kemudiannya menyebabkan kehausan sedimen dari saluran sungai dan sumber berdekatan sebelum puncak luahan (Baca, 2002; Slattery *et al.*, 2002; Lefrançois *et al.*, 2007). Walau bagaimanapun, Steegen *et al.*, (2000) menjelaskan hubungan histerisis arah jam dihasilkan bukan dengan kejadian luahan dan kehausan sedimen, tetapi dengan bekalan sedimen dari cerun bukit dan daripada sumber-sumber yang jauh dari kawasan tadahan, yang biasanya dikaitkan dengan keluk melawan arah jam (Klein, 1984; Goodwin *et al.*, 2003). Tafsiran lain termasuk kelembatan hujan yang tinggi pada awal kejadian ribut (Doty & Carter, 1965) dan peningkatan input daripada aliran dasar selepas luahan puncak (Wood, 1977; Baca, 2002) serta tempoh dan jangka masa di antara kejadian ribut (Wood, 1977). Perbezaan tafsiran keluk histeritik ini menunjukkan bahawa ianya tidak boleh digunakan sebagai alat yang unik untuk pengenalan sumber sedimen. Oleh itu, adalah perlu untuk mendapatkan maklumat/data secara langsung sumber-sumber sedimen dan proses hakisan di kawasan tadahan (Rajah 1).

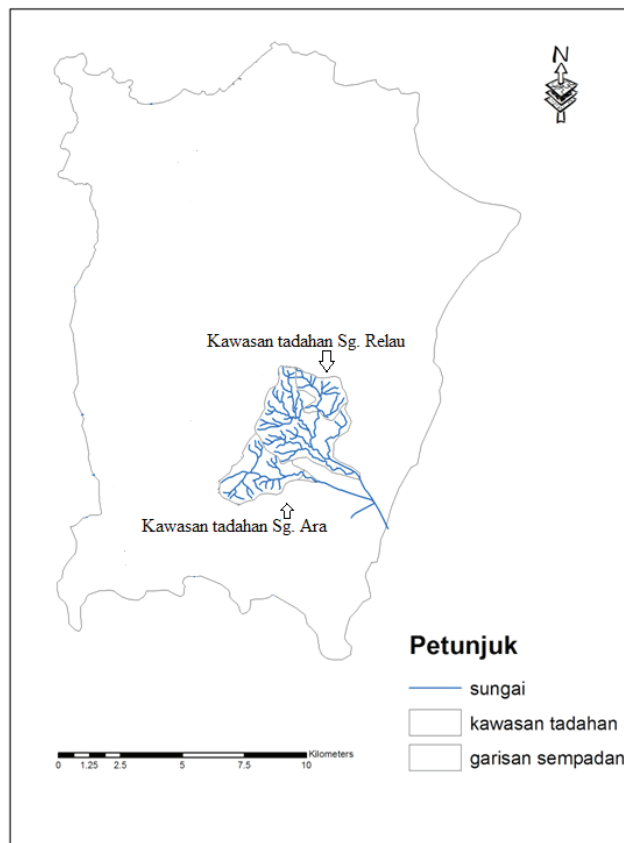
Beban sedimen dan kekeruhan air menyebabkan banyak masalah kepada organisma hidup di dalam air dan terdapat banyak aktiviti tanah yang membimbangkan di kawasan tadahan yang boleh menambah sejumlah besar sedimen sungai (Wood, 1977; Ourng *et al.*, 2010). Kajian ini bertujuan untuk menganalisis dan membentangkan dapatan kepekatan sedimen terampai di beberapa lembangan sungai dan dapatan semasa kejadian ribut di kawasan tadahan yang sedang meningkat naik seterusnya melihat kesan aktiviti manusia ke atas perubahan kepekatan sedimen terampai di beberapa sungai kawasan barat daya Pulau Pinang. Selain itu, analisis pertalian di antara luahan dan kepekatan sedimen terampai dilakukan untuk melihat proses penghantaran sedimen dengan menggunakan histerisis luahan sedimen semasa kejadian ribut.



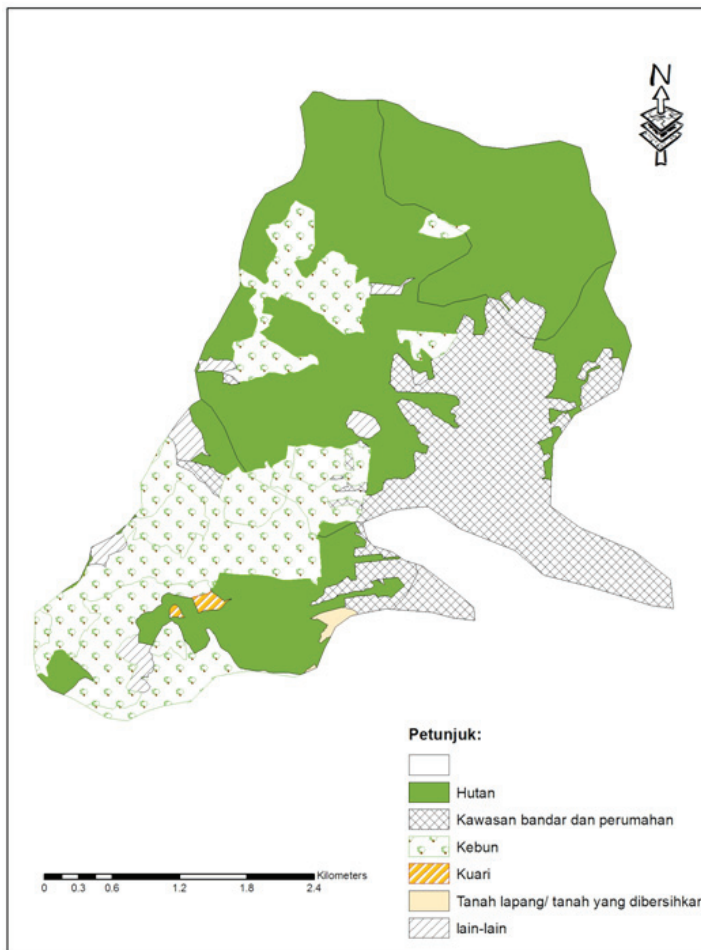
**Rajah 1** Histerisis kepekatan sedimen terampai (SSC) dan luahan (Q). Pertalian: (A) linear, (B) pergerakan histerisis lawan arah-jam dan (C) pergerakan histerisis arah jam  
Sumber: Hudson (2003)

## Metodologi dan Kawasan Kajian

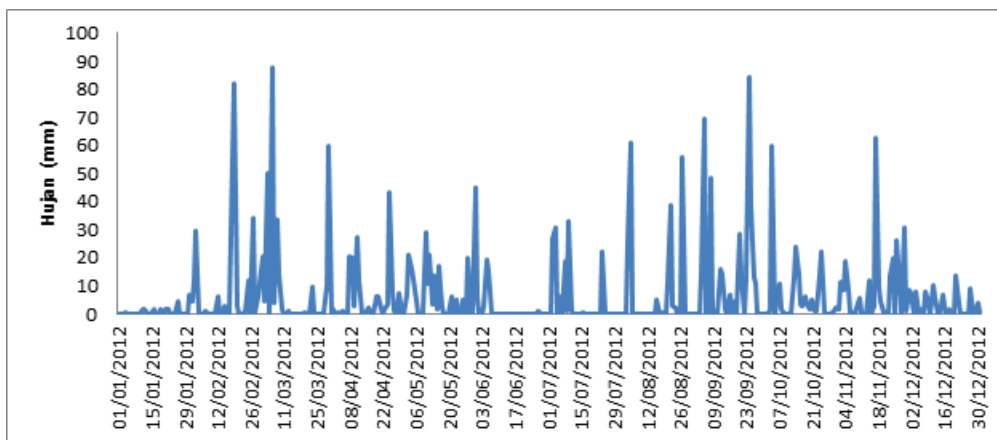
Kajian ini hanya tertumpu di bahagian kawasan Barat Daya Pulau Pinang dan empat kawasan sungai telah dipilih sebagai lokasi pensampelan (Rajah 2). Antara sungai yang dipilih adalah Sg. Relau hulu N 5° 20.94" E° 100 16.32" (keluasan kepadatan saliran 6.75 km/km<sup>2</sup>), Sg. Relau Hilir N 5° 19.27" E° 100 16.88" (keluasan kepadatan saliran 3.77 km/km<sup>2</sup>), Sg. Ara Hulu N 5° 19.48" E° 100 15.86" (keluasan kepadatan saliran 2.98 km/km<sup>2</sup>) dan Sg. Ara Hilir N 5° 19.34" E° 100 16.33" (keluasan kepadatan saliran 2.92 km/km<sup>2</sup>) (Rajah 2). Kawasan tadahan Relau Hulu dilitupi 95% dari kawasan hutan, 4.3% kawasan bandar dan petempatan manakala 0.31% adalah kawasan kebun. Sementara kawasan tadahan Relau hilir 52% kawasan hutan, 34% kawasan bandar dan perumahan dan 14% kawasan kebun. Guna tanah di kawasan tadahan Ara hulu pula 29% adalah kawasan hutan, 7% kawasan bandar dan perumahan, 58% kawasan kebun, 5% lain-lain kawasan dan 1% kawasan kuari. Sementara di kawasan tadahan Sg. Ara hilir 100% guna tanah di kawasan tadahan ini dari bandar dan petempatan (Rajah 3). Corak bulanan menunjukkan dalam musim basah adalah pada bulan Oktober dengan kadar hujan sebanyak 299.3 mm (Rajah 4).



**Rajah 2** Kawasan Kajian



**Rajah 3** Guna tanah kawasan tadahan Sg. Ara dan Sg. Relau



**Rajah 4** Data hujan tahun 2012 (Jabatan Meteorologi Malaysia)

## **Kaedah Lapangan dan Analisis Dalam Makmal**

Kajian ini dilakukan bermula Januari 2012 hingga Disember 2012. Sampel air dan luahan diukur bagi setiap selang dua minggu dan tiga replikat sampel diambil bagi setiap lokasi persampelan. Meter halaju air *Propeller* pula digunakan untuk mengukur halaju air dalam meter per saat dan pengiraan luahan adalah menggunakan kaedah “luas rentas-halaju” (Gordon *et al.*, 1992). Untuk pengukuran kepekatan pepejal terlarut, sampel tersebut perlulah di turas menggunakan kertas turas berukuran (0.45  $\mu\text{m}$ ). Pengkelasan kejadian ribut dan perkaitannya dengan keluk histerisis, luahan dan kepekatan sedimen ditunjukkan menerusi pertalian linear menurut William (1989).

## **Keputusan dan Perbincangan**

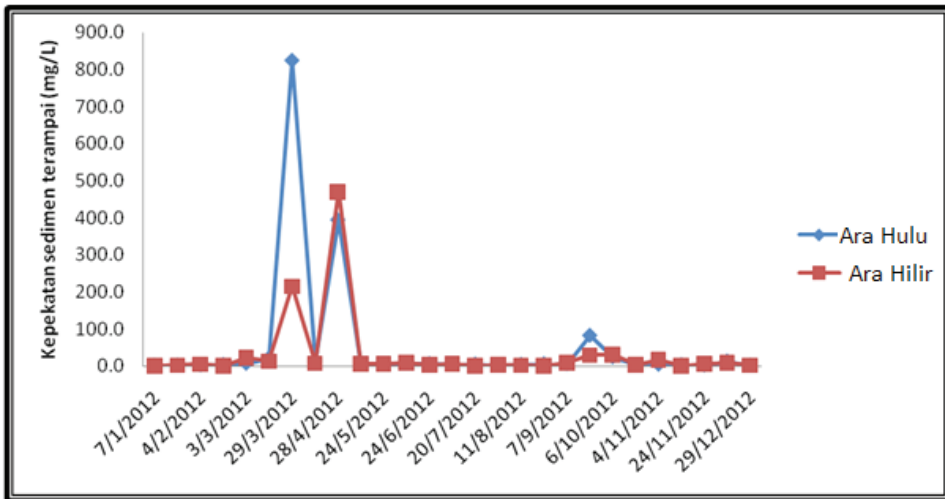
Kepekatan sedimen terampai (SSC) yang direkodkan sepanjang persampelan (Januari-Disember 2012) ditunjukkan dalam Rajah 5 dan Rajah 6. Sepanjang persampelan, jumlah SSC tertinggi yang direkodkan pada 24 April 2012 sebanyak 470 mg/L dengan luahan 0.42  $\text{m}^3/\text{s}$  di Sg. Ara hulu. Julat kepekatan SSC di kawasan Sg. Relau hulu adalah 0.2 mg/L- 48.7 mg/L; Sg. Relau hilir 2.2 mg/L – 204.9 mg/L, manakala kawasan Sg. Ara hulu julat SSC adalah 0.4 mg/L – 470 mg/L dan 1.0 mg/L- 393.9 mg/L telah direkodkan di kawasan Sg. Ara hilir.

## **Data Semasa Kejadian Ribut**

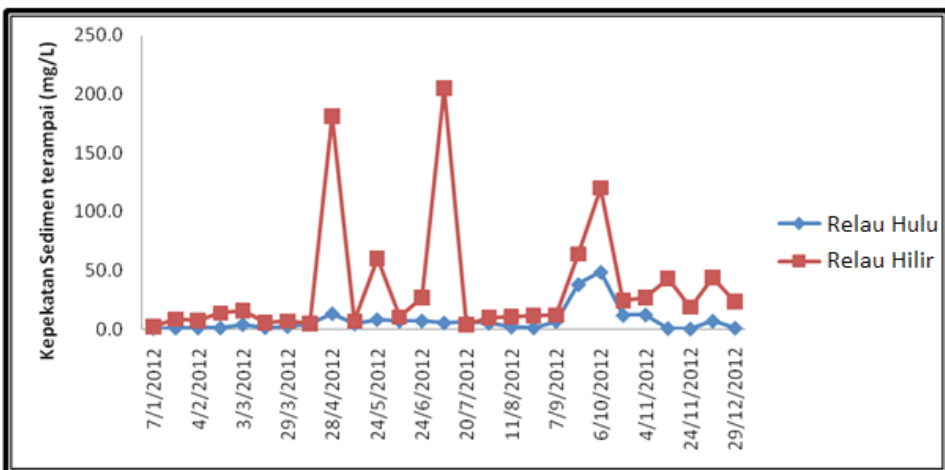
Ringkasan kejadian ribut dipaparkan dalam Jadual 1. Persampelan kejadian ribut dilakukan selama 12 jam dan nilai puncak SSC semasa kejadian ribut telah direkodkan sebanyak 23.6 mg/L- 2564 mg/L dengan luahan 0.3  $\text{m}^3/\text{s}$  – 10.6  $\text{m}^3/\text{s}$ . Kepekatan SSC tertinggi adalah di Sg. Ara hulu iaitu 2564 mg/L dengan luahannya 0.58  $\text{m}^3/\text{s}$  telah direkodkan pada pukul 12 tengahari. Kepekatan SSC tertinggi di Sg. Ara hilir dan Sg. Relau direkodkan pada pukul 1 tengah hari iaitu sebanyak 115.4 mg/L dengan luahan 10.6  $\text{m}^3/\text{s}$ ; 1252 mg/L dengan luahan 4.86  $\text{m}^3/\text{s}$  (Rajah 7 & Rajah 8) dan hujan minguang pada kejadian ribut ini adalah 119.1 mm.

Dalam kajian ini, terdapat dua jenis histerisis yang berlaku iaitu histerises mengikut arah jam dan histerisis mengikut lawan jam (Rajah 9 & Rajah 10). Histerisis mengikut arah jam berlaku apabila sedimen berasal dari dasar dan tebing saluran atau kawasan berdekatan dengan saluran, sedangkan histerisis lawan arah jam berlaku apabila bahagian atas cerun adalah kawasan sumber sedimen (Klein, 1984; Williams, 1989). Hubungan antara kepekatan sedimen dan luahan biasanya tidak seragam semasa kejadian ribut, dan menghasilkan keluk histeritik. Dapatan daripada kajian mendapati, Sg. Ara dicirikan oleh hubungan arah-jam atau hubungan positif (Rajah 9) manakala kawasan tadahan Relau dicirikan oleh histerisis lawan-jam (Rajah 10) yang mana puncak sedimen mendahului puncak hidrograf (Williams 1989; Wan Ruslan, 1996). Bekalan sedimen dan lokasinya di kawasan tadahan air mempunyai pengaruh yang

kuat terhadap bagaimana semasa dan sebelum berlakunya kejadian, dan aliran air serta hujan antara semasa kejadian ribut, memberi kesan kepada beban dan kepekatan sedimen. Dari pemerhatian di lapangan, kita mampu untuk mengaitkan keluk histerisis ini dengan sumber yang dekat dengan sungai. Sumber sedimen di kawasan tadahan Sg. Ara yang terletak berhampiran stesen pengukuran, manakala kawasan tadahan Relau terletak jauh dengan sumber sedimen. Kedua-dua Sg. Ara dan Sg. Relau adalah kawasan tadahan sungai sedang menjalani pembangunan pesat dan input sungai datang daripada aktiviti pembersihan tanah semasa aktiviti pembangunan pembinaan di kawasan tadahan menyebabkan sungai-sungai menjadi ‘tidak sihat’(Rajah 3).



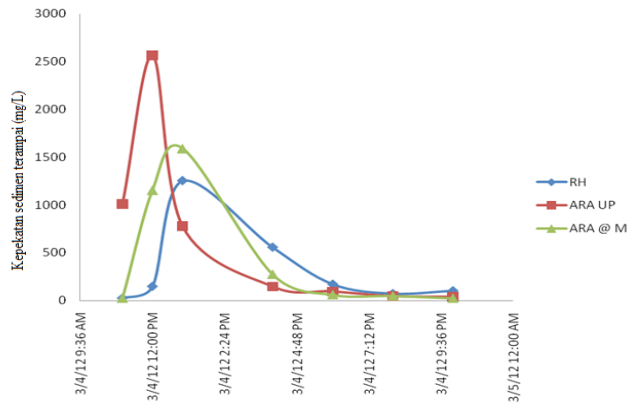
Rajah 5 Variasi kepekatan sedimen sepanjang persampelan (kawasan tadahan Sg. Ara)



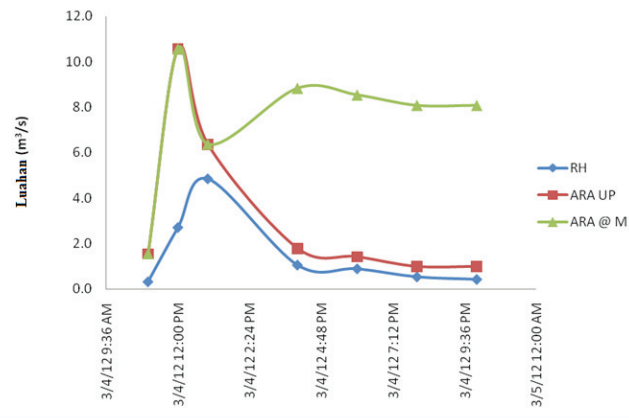
Rajah 6 Variasi kepekatan sedimen sepanjang persampelan (kawasan tadahan Sg. Relau)

**Jadual 1** Ringkasan data semasa kejadian ribut

Kejadian ribut	Sg. Relau (RH)		Sg. Ara (hulu)		Sg. Ara (hilir)	
	Luahan (m <sup>3</sup> /s)	Kepekatan sedimen terampai (mg/L)	Luahan (m <sup>3</sup> /s)	Kepekatan sedimen terampai (mg/L)	Luahan (m <sup>3</sup> /s)	Kepekatan sedimen terampai (mg/L)
3/4/12 11:00 AM	0.31	23.6	0.02	1007.6	1.5	24
3/4/12 12:00 PM	2.71	146.8	0.58	2564.8	10.6	1154.4
3/4/12 1:00 PM	4.86	1252.4	0.54	775.6	6.4	1590.8
3/4/12 6:00 PM	1.04	556.8	0.04	144	1.8	274
3/4/12 6:30 PM	0.88	169.8	0.03	93.6	1.4	59.2
3/4/12 8:00 PM	0.52	71.2	0.02	44.8	1.0	48.8
3/4/12 10:00 PM	0.41	101.2	0.02	37.2	1.0	23.6

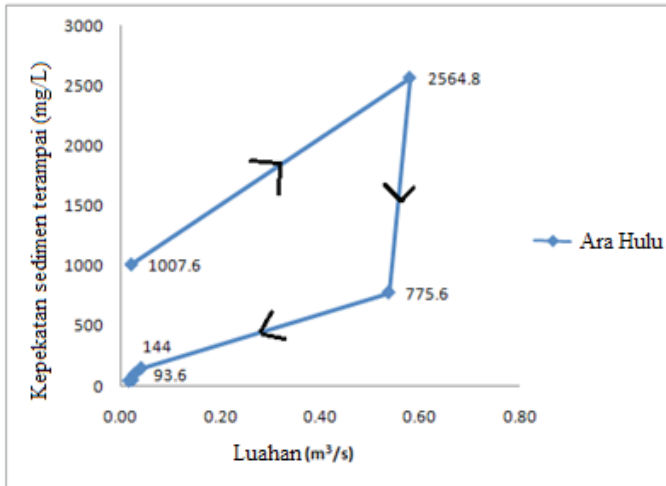


**Rajah 7** Kepekatan sedimen semasa kejadian ribut

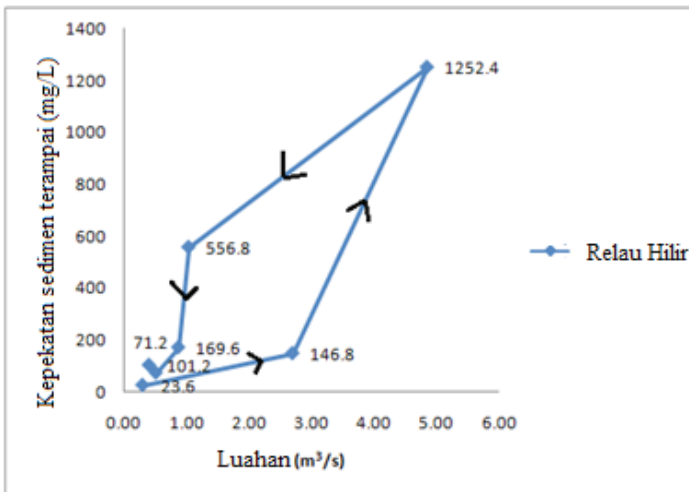


**Rajah 8** Luahan semasa kejadian ribut





Rajah 9 Histerisis arah-jam di Sg. Ara hulu



Rajah 10 Histerisis lawan-jam di Sg. Relau hilir

## Kesimpulan

Sg. Ara dan Sg. Relau merupakan dua kawasan tadahan sungai yang sedang menjalani proses pempandaran yang pesat. Keputusan menunjukkan bahawa SSC adalah tinggi semasa ribut menyebabkan sungai dianggap sebagai “tidak sihat”. Dua jenis histerisis berlaku semasa peristiwa ribut iaitu histerisis arah jam dan melawan arah jam. Antara punca sedimen di Sg. Ara terletak dekat dengan stesen cerapan menghasilkan histerisis positif manakala Sg. Relau pula jauh dari stesen menghasilkan histerisis negatif (lawan jam).

## Penghargaan

Kajian ini dilakukan dengan bantuan geran RU-PRGS 1001/PHUMANITI/846039. Kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pengajian Fizik bagi data hujan automatik dan kepada pelajar tahun akhir yang membantu semasa kerja-kerja persampelan di lapangan.

## Rujukan

- Baca, P. (2002). Temporal variability of suspended sediment availability during rainfall-runoff events in a small agricultural basin. ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia.
- DiCenzo, P. D. & Luk, S. (1997). Gully erosion and sediment transport in a small subtropical catchment. *Catena* 29: 161-176.
- Goodwin, T. H., Young A. R., Holmes, G. R., Old, G.H., Hewitt, N., Leeks, G.J.L., Packman, J. C. & Smith, B. P. G. (2003). The temporal and spatial variability of sediment transport and yields within the Brandford Beck catchment, West Yorkshire. *Science Total Environment*, 314: 475-494.
- Gordon N. D., Mc Mahon T. A. & Finlayson B. L. (1992). *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Hudson, P. F. (2003). Event sequence and sediment exhaustion in the lower Panuco Basin, Mexico. *Catena*, 52: 57-76.
- Jabatan Meteorologi Malaysia (2012). Data Hujan Bayan Lepas.
- Klein, M. (1984). Anti-clockwise hysteresis in suspended sediment concentration during individual storm: Holbeck catchment, Yorkshire, England. *Catena*, 11: 251-257.
- Lefrançois, J., Grimaldi, C., Gascuel-ODoux, C., Gilliet, N. (2007). Suspended sediment and discharge relationships to identify bank degradation as a main source on small agricultural catchments. *Hydrology Process*, 21: 2923-2933.
- Leigh, C. H. & Low, K. S. (1973). An appraisal of flood situation in West Malaysia. In: Proc. Symp. on Biol. Resources and National Development, E. Soepadmo & K. G. Sing (eds), 57-72. Malay. Nat. Soc, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Ourng, C., Sauvage, S; Sanchez-Perez, J. (2010). Dynamic of suspended sediment transport and yield in a large agricultural catchment, southwest France. *Earth Surface Process Landforms*, 35: 1289-1301.
- Piest, R.F., Bradford, J.M., Wyatt, G.M. (1975). Soil erosion and sediment transport from gullies. *Journal of the Hydrology Division*, 101: 65-80.
- Seeger, M., Errea, M. P., Begueria, S., Arnaez, J., Marti, C. & Garcia-Ruiz, J. M. (2004). Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees. *Journal of Hydrology*, 288: 299-311.
- Schumm, S. A. (1977). *The Fluvial System*. John Wiley and Sons, New York.
- Slattery, M.C., Gares, P.A., Philips, J.D. (2002). Slope-channel linkage and sediment delivery on North Carolina Coastal Plain cropland. *Earth Surface Process. Landforms*, 27: 1377-1387.
- Steege, A., Govers, G., Nachtergaele, J. Takken, I., Beuselinck, L. & Poesen, J. (2000). Sediment export by water from agricultural catchment in the Loam Belt of central Belgium. *Geomorphology*, 33: 25-36
- Walker, J. & Reuter, D.G (1996). *Indicators of catchment health: A technical perspective*. CSIRO Publishing, Melbourne.

- Wan Ruslan Ismail (2000). The hydrology and sediment yield of the Sungai Air Terjun catchment, Penang Hill, Malaysia. *Hydrological Sciences J.*, 45(6): 897-909.
- Williams, G. P (1989). Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. *J. Hydrol*, 111: 89-106.
- Wan Ruslan Ismail. (1996). The role of tropical storms in the catchment sediment removal. *J. Biosains*, 7(2): 153-168.
- Wood, P. (1977). Control of variation in suspended sediment concentration in the River Rother, West Sussex, England. *Sedimentology*, 24: 437-445.