



MASALAH SEDIMENTASI DAN PENYELESAIANNYA MELALUI KAEDAH PENGURUSAN PERSEKITARAN: SATU KAJIAN KES DI SUNGAI CHINI, PAHANG.

(Sedimentation issue and Its Solution Through Environmental Management Approach: A Case Study in Sungai Chini, Pahang)

Mohd Ekhwan Toriman, Mohd Khairul Amri Kamarudin, Mushrifah Hj Idris, Muhammad Barzani Gasim & Nor Rohaizah Jamil

ABSTRAK

Sungai Chini merupakan satu-satunya sungai yang mengalir keluar daripada Tasik Chini ke Sungai Pahang. Semenjak beberapa tahun kebelakangan ini, Sungai Chini mengalami kemerosotan kualiti air akibat proses sedimentasi dan ketidakseimbangan pembangunan di sekitar lembangannya. Kajian dijalankan bertujuan menganggarkan penghasilan muatan sedimen tahunan ($\text{tan}/\text{km}^2/\text{tahun}$), membina model hidraulik berdasarkan kapasiti sungai dan cadangan kepada kaedah pengurusan sedimen. Persampelan kajian telah dijalankan pada Julai 2008 sehingga Jun 2009 melibatkan tiga musim berbeza iaitu musim normal, hujan dan selepas hujan. Sebanyak tiga stesen persampelan telah dipilih. Keputusan kajian menunjukkan anggaran purata tahunan sedimen yang diangkut keluar dari Sungai Chini ialah $787.621 \text{ tan}/\text{km}^2/\text{tahun}$. Hasil analisis statistik korelasi bagi hubungan antara muatan sedimen dan luahan kajian pula adalah sangat signifikan, iaitu $R^2=0.980$. Hubungan luas kawasan tadahan dan muatan sedimen bagi kajian sungai terpilih juga menunjukkan hubungan yang signifikan, iaitu $R^2=0.824$ membuktikan kaitan kuat diantara penghasilan sedimen dengan perubahan guna tanah yang berlaku di sekitar lembangan ini. Hasil kajian mendapati sedimentasi yang tinggi berpunca daripada aktiviti guna tanah, kewujudan baraj di hilir Sungai Chini yang memerangkap sedimen, aliran songsang dari Sungai Pahang masuk ke Sungai Chini dan faktor hakisan tebing. Kajian ini mencadangkan langkah kawalan sedimen seperti mewujudkan rizab pemuliharaan bagi sebahagian lembangan tasik, mengubahsuai sistem baraj, mengaplikasikan sistem "*Monkey Cheek*" yang bertujuan mengalir serta membersihkan sedimen terampai yang tinggi dan cadangan kawalan hakisan tebing sungai.

Kata kunci: Sedimentasi, Pengurusan persekitaran, Pemodelan sedimen, XPSWMM, Sungai Chini

ABSTRACT

Sungai Chini is the only river that flows out of Lake Chini to Pahang River. Over the years, Sungai Chini experienced water quality deterioration due to sedimentation process and imbalance of development surrounding the catchment. The study was conducted in order to estimate the annual sediment load ($\text{tons}/\text{km}^2/\text{yr}$), building a hydraulic model based on the capacity of the river and proposed of sediment management. Sampling survey was conducted in July 2008 until June 2009 involved three different seasons namely the normal season, wet and after raining. Three sampling stations were selected. The results showed that the estimated mean annual sediment transported out of Sungai Chini is $787,621 \text{ tons} / \text{km}^2 / \text{year}$. Based on the statistical analysis indicates very significant correlation ($R^2= 0.980$) between sediment load and discharge. The relationships between catchment size and sediment loads for selected streams within the lake basin also showed a significant correlation of $R^2 = 0.824$ which proved sediment production is associated with changes in land use. The study found that major sediment contributions are mainly from land use activities, the existence of weir at downstream site which trapped the sediment movement, back water flowing from Sungai Pahang and river bank erosion. This study suggests sediment control measures such as gazetting

selected areas for the conservation of the lake basin, modification the structure of the weir, applying the "Monkey Cheek" in order to flushing high suspended sediment and controlling riverbank erosion.

Key words: Sedimentation, Environment management, Sediment modelling, XPSWMM, Sungai Chini

PENGENALAN

Sedimen atau enapan boleh didefinisikan sebagai bahan yang terhakis dan diangkut menerusi regim air untuk sampai ke tempat pemendapan. Sedimen terampai biasanya mempunyai bahan koloid yang bersaiz mikro, memerlukan hanya halaju sungai yang rendah untuk mengangkut dari satu titik ke satu titik. Manakala beban dasar sedimen merupakan beban yang bergaris pusat antara 0.2 mm hingga ke 2 mm, bergantung kepada struktur asas batuan dan tanah di sekitar kawasan tersebut (Noorazuan, et al. 2001). Struktur sedimen pula merupakan struktur yang terbentuk semasa pengenapan atau sejurus selepas bahan sedimen itu diendapkan serta sebelum sedimen termampat.

Masalah sedimen telah lama berlaku di persekitaran Lembangan Tasik Chini dan semakin serius sejak kebelakangan ini. Banyak kawasan hutan dipterokap yang mengelilingi lembangan Tasik Chini, kini menjadi hutan sekunder kerana telah dibalok. Ini mengakibatkan berlakunya degradasi tanah, gangguan kepada ciri fiziko-kimia tanah, proses luluhawa, hakisan tanah dan juga pelbagai lagi impak yang menyumbang kepada penambahan sedimen. Selain itu, penyusutan isipadu air tasik yang serius pada musim kemarau telah menyumbang kepada endapan sedimen dan menyebabkan kadar aliran sedimen semakin meningkat terutamanya semasa musim hujan. Kesemua aliran sedimen akan mengalir masuk ke dalam tasik dan menuju ke Sungai Chini, iaitu satu-satunya aliran keluar Tasik Chini ke Sungai Pahang. Pemendapan sedimen di dasar sungai menyebabkan Sungai Chini menjadi semakin cetek dan tohor.

Antara tahun 1995 hingga 1996, sebuah baraj bertujuan mengawal aras air bagi kemudahan navigasi bot di sepanjang Sungai Chini dan Tasik Chini telah dibina (Mushrifah & Ahmad Abas Kutty 2005). Baraj ini berjaya mengatasi masalah kecekatan yang berlaku di sungai dan Tasik Chini seterusnya memudahkan pergerakan bot pelancongan (Sulong Mohamad & Mohd Ekhwan 2006). Namun begitu, ia tidak mempunyai struktur yang berfungsi untuk mengangkut keluar sedimen yang akhirnya memerangkap dan menghalang sedimen untuk terus keluar ke Sungai Pahang. Selain itu, peningkatan aliran sedimen di Sungai Chini juga disebabkan oleh faktor aktiviti perlombongan yang terletak di sebelah utara dan timur Hutan Simpan Chini. Seterusnya, fenomena banjir yang berlaku pada setiap kali Monsun Timur Laut juga telah menyebabkan berlakunya aliran songsang (*back flow*) di Sungai Chini yang menyebabkan pengangkutan sedimen masuk dari Sungai Pahang ke Sungai Chini. Artikel ini akan membincang dan mengenalpasti secara saintifik jumlah penghasilan sedimen, punca dan seterusnya cadangan penyelesaian terhadap masalah konsentrasi pemendapan sedimen yang serius. Simulasi pemodelan yang akan dijalankan di dalam kajian ini adalah penting bagi melihat kesan terhadap bentuk keratan rentas sungai dan sistem hidrologi sungai.

KAWASAN DAN METODOLOGI KAJIAN

Sungai Chini terletak di garis lintang $3^{\circ}26'36.41''E$ $-3^{\circ}27'03.26''E$ dan $102^{\circ}54'31.94''-102^{\circ}53'35.49''$ Sungai Chini yang panjangnya 4.8 km merupakan satu-satunya sungai yang menghubungkan Sungai Pahang dan Tasik Chini. Air dari Tasik Chini hanya mengalir keluar ke Sungai Pahang melalui Sungai Chini (Mohd Ekhwan et al. 2009). Oleh itu, Tasik Chini

juga boleh dikunjungi melalui pengangkutan air melalui sungai dari Kampung Belimbing yang terletak di utara Sungai Pahang (Sulong & Ekhwan, 2006).

Bagi tujuan kajian ini, sebanyak tiga stesen persampelan yang mewakili sepanjang Sungai Chini telah diambil. Sstesen 1 (S1) hulu Sungai Chini, stesen 2 (S2) pertengahan Sungai Chini dan stesen 3 (S3) di hilir Sungai Chini (Jadual 1). Persampelan analisis sedimen terampai dan kerja pengukuran nilai luahan sungai juga telah dilakukan sebanyak tiga kali, iaitu pada 16/8/08 (musim normal), 4/12/08 (musim hujan) dan 28/4/09 (musim selepas hujan). Di setiap stesen, sampel air telah diambil dan disimpan di dalam botol khas (500 ml) bagi tujuan menganalisis jumlah sedimen terampai (TSS) yang terdapat di Sungai Chini. Tiga replikasi sampel telah diambil bagi setiap stesen dan hasil kajian diambil berdasarkan purata replikasi tersebut. Ukuran keratan rentas sungai dan halaju air (V) bagi setiap stesen diambil menggunakan beberapa alatan seperti meter arus, tolok penyukat kedalaman, pita pengukur dan pancang (teknik pengambilan data ini mengikut prosedur sebagai mana yang telah dijelaskan oleh Wan Ruslan 1994 dan Mohd EkhwanToriman 2007).

Jadual 1: Lokasi stesen persampelan di Sungai Chini.

Stesen	Garis Lintang	Garis Bujur
Hulu Sg.Chini (S1)	3°26'36.413" T	102°54'31.946" U
Tengah Sg. Chini (S2)	3°26'36.400" T	102°54'31.900" U
Hilir Sg. Chini (S3)	3°27'03.268" T	102°53'35.497" U

Kaedah Gravimetrik diguna pakai bagi menganalisis parameter jumlah sedimen terampai (TSS) yang diperolehi. Jumlah ini diukur dalam unit mg/L. Data yang diperolehi secara in-situ di lapangan juga dianalisis dan model simulasi akan dijalankan dengan menggunakan perisian XPSWMM. Dua mod permodelan akan digunakan di dalam simulasi ini, iaitu hidrologi dan hidraulik. Input utama model ialah data luahan, perubahan fizikal keratan rentas sungai dan aras limpahan air. Proses pemodelan pengangkutan sedimen umumnya merangkumi tiga fasa utama, iaitu analisis hidrologi, hidraulik dan pengangkutan sedimen. Analisis hidrologi dan hidraulik perlu dikalibrasi terlebih dahulu sebelum proses menganalisis pengangkutan sedimen dilakukan.

Bagi analisis di makmal, sampel air sebanyak 250ml untuk setiap plot kawasan kajian diperlukan. Pengukuran pepejal terampai dilakukan dengan menimbang kertas membran berliang 0.45µm satu persatu dan bacaan diambil. Seterusnya, kertas membran yang telah ditimbang diletakkan pada alat penuras (Nalgene, U.S.A) yang telah disambung kepada pam vakum dan menggunakan pengepit untuk mengemaskannya. Sampel air sungai dicurah perlahan-lahan ke dalam balang alat penurasan. Kertas membran diambil dan dikeringkan di dalam balang pengering. Setelah kertas membran kering, penimbangan akan dilakukan bagi mendapatkan bacaan. Berbeza dengan jumlah pepejal terlarut, butirannya secara fizikal terpisah daripada jasad air. Justeru itu, langkah berjaga-jaga perlu diambil semasa pengambilan sampel air. Gangguan terhadap aliran air sungai perlulah berada pada tahap minimum untuk mengelak berlakunya pempadapan pepejal terampai yang diukur. Seterusnya, hasil bacaan tersebut diambil dan dikira menggunakan rumus berikut (Mohd Khairul Amri et al. 2009):

$$\begin{aligned}
 MS &= (Q \times TSS) / \text{kawasan lembangan persampelan} & [1] \\
 &= (l/\text{hari} \times \tan/l) / \text{km}^2 \\
 &= \text{tan}/\text{km}^2/\text{hari} \times 365 \text{ hari} \\
 &= \text{tan}/\text{km}^2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

HASIL DAN PERBINCANGAN

Secara keseluruhannya, penghasilan sedimen tahunan dapat diandaikan melalui pengiraan dan pemodelan simulasi yang dijalankan. Jadual 2 menunjukkan anggaran keseluruhan muatan sedimen terampai melalui purata keseluruhan data yang diperolehi. Nilai penghasilan sedimen yang tertinggi diperolehi adalah pada musim hujan, iaitu sebanyak 37.78 mg/L dengan luahan tertinggi 541,123,200 L/hari. Seterusnya diikuti oleh musim normal, iaitu 31.02 mg/L dengan luahan 138,499,200 L/hari dan terendah pada musim selepas hujan dengan nilai TSS sebanyak 19.18 mg/L dan luahan sebanyak 181,699,200 L/hari.

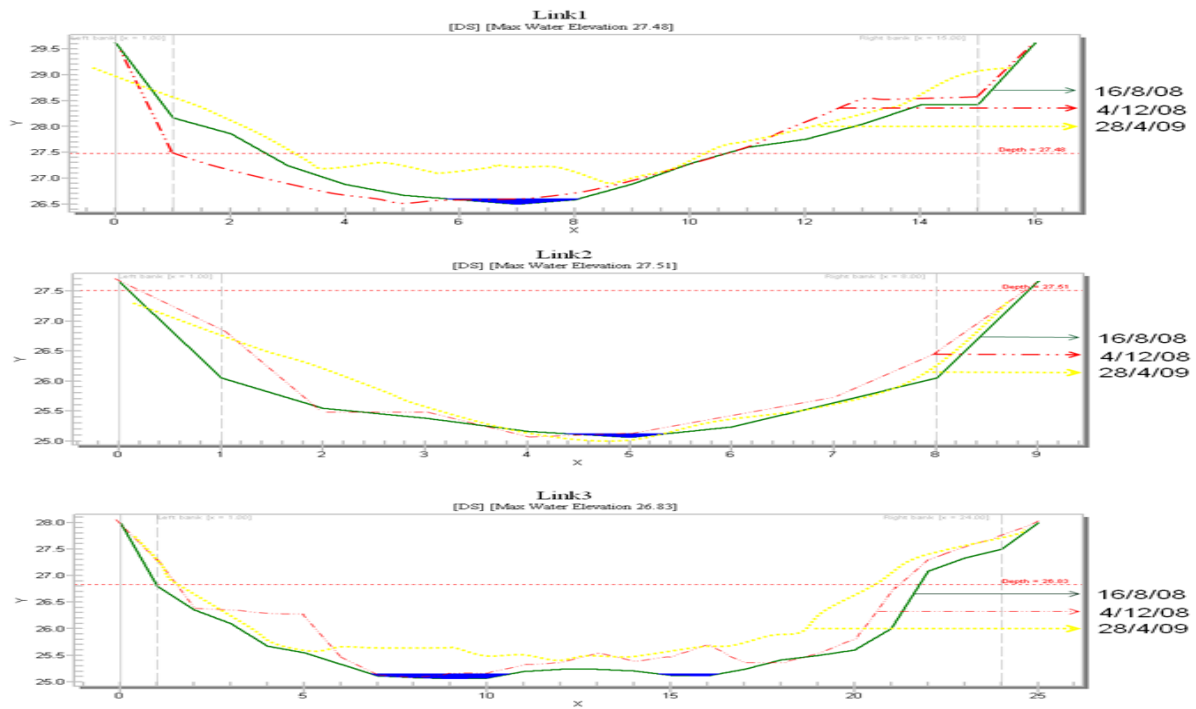
Anggaran penghasilan sedimen seterusnya dikira di dalam nilai tan/km²/tahun bagi memudahkan anggaran nilai yang diguna pakai. Dapatan kajian mendapati, anggaran muatan sedimen terampai tahunan tertinggi adalah pada musim hujan, iaitu sebanyak 1,711.451 tan/km²/tahun, diikuti musim normal sebanyak 359.663 tan/km²/tahun dan musim selepas hujan, iaitu 291.748 tan/km²/tahun. Manakala purata keseluruhan bagi mewakili jumlah penghasilan sedimen terampai tahunan di Sungai Chini adalah sebanyak 787.621 tan/km²/tahun (Jadual 2). Nilai muatan sedimen terampai tahunan ini adalah tinggi jika diambil kira dengan saiz lembangan dan panjang Sungai Chini.

Jadual 2: Anggaran Muatan Sedimen Terampai di Sungai Chini, Pahang.

Stesen (Sungai Chini)	Kawasan (km ²)	Σ TSS (mg/l)	TSS (kg/l)	Anggaran Q (m ³ /s)	Anggaran Q (L/hari)	Hasil sedimen Kg per hari (kg/hari)	Hasil sedimen kg km ² per hari (kg/km ² /hari)	Hasil sedimen tan km ² per tahun (tan/km ² /tahun)
Musim normal	4.36	31.02	0.000 031 02	1.603	138 499, 200	4, 296. 245	985	359. 663
Musim hujan	4.36	37.78	0.000 037 78	6.263	541, 123, 200	204, 443. 634	4, 688.907	1, 711. 451
Musim selepas hujan	4.36	19.18	0.000 019 18	2.103	181, 699, 200	3, 484. 991	799.310	291.748
Purata	4.36	29.33	0.000 029 33	3.323	287, 107, 200	70, 741. 62	2, 157. 739	787. 621

Sumber: Hasil Kajian 2009.

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijalankan, corak pemendapan sedimen yang berlaku di sepanjang Sungai Chini adalah signifikan, dimana semakin ke hilir sungai semakin bertambah pemendapan sedimen yang berlaku. Rajah 1 menunjukkan perubahan keratan rentas Sungai Chini yang berlaku dalam tempoh satu tahun pemerhatian, iaitu pada musim normal 16/8/08 hingga ke musim hujan 4/12/08 dan ke musim selepas hujan, iaitu 28/4/09. Link 1 merupakan hulu kepada Sungai Chini yang merupakan kawasan pertemuan antara Sungai Chini dengan Tasik Chini. Simulasi menunjukkan kesan pemendapan sedimen adalah tertumpu di bahagian kanan sungai manakala hakisan pula berlaku di bahagian kiri sungai dari musim normal hingga musim hujan. Bahagian kiri sungai yang dalam dan curam (± 2.6 m aras air musim hujan) menunjukkan kawasan tumpuan pergerakan air yang tinggi menyebabkan berlakunya hakisan serta berupaya mengangkut sedimen dengan cepat berbanding di bahagian kanan sungai yang mempunyai cerun yang landai dan menjadi tumpuan kepada proses sedimentasi (Link 1 dalam Rajah 1). Walau bagaimanapun, pada musim berikutnya, hakisan yang berlaku telah bertukar kepada pemendapan yang lebih sekata di sepanjang keratan rentas pada S1. Ini kerana pergerakan aliran yang semakin perlahan pada musim selepas hujan berbanding musim hujan telah berlaku.

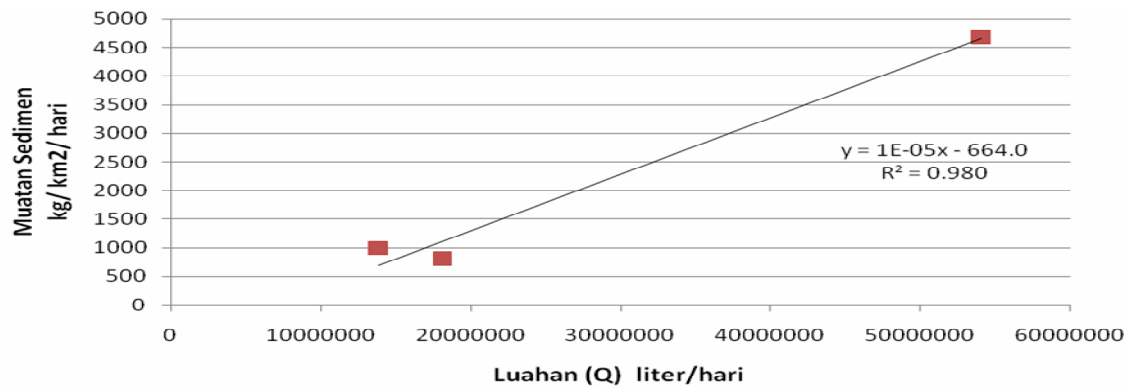


Rajah 1: Perubahan keratan rentas Sungai Chini sepanjang kajian dijalankan

Simulasi juga menunjukkan kesan pemendapan sedimen di Link 1 adalah agak sedikit berbanding Link 2. Di Link 2, pemendapan sedimen pada musim hujan adalah agak tinggi di kedua-dua bahagian tebing sungai. Hal ini kerana keratan rentas Link 2 adalah sekata yang mana tumpuan air adalah di bahagian tengah sungai manakala halaju air yang agak rendah di kedua-dua bahagian tebing menyebabkan berlakunya proses sedimentasi dan hakisan yang berlaku hanyalah di bahagian tengah dasar sungai. Bagi Link 3 pula, terdapat pemendapan sedimen yang tinggi, di mana hanya sebahagian kecil kiri sungai sahaja yang tidak berlaku proses sedimentasi pada musim hujan. Namun pada musim berikutnya, pemendapan sedimen berlaku dengan ketara dan ketebalan pemendapan ini berjaya disimulasikan, iaitu sehingga mencapai ± 0.5 meter (Rajah 1 Link 3/Rajah 5). Hal ini kerana Link 3 merupakan kawasan baraj yang terletak di muara Sungai Chini.

Berdasarkan Rajah 2, pekali korelasi antara nilai pencerapan (Q) L/hari dengan nilai muatan sedimen $\text{kg}/\text{km}^2/\text{tahun}$ adalah positif dengan nilai koefisien 0.98 atau sangat signifikan, iaitu $R^2=0.980$. Ini menunjukkan pembolehubah luahan (Q) mempunyai hubungan positif yang tinggi dengan muatan sedimen di mana peningkatan nilai cerapan (Q) akan menyebabkan pertambahan pada nilai muatan sedimen. Peramalan regrasi pula menunjukkan ramalan terhadap penghasilan sedimen terhadap penambahan luahan menunjukkan ketepatan yang tinggi, iaitu 98% di mana semakin tinggi luahan air, semakin banyak nilai muatan sedimen dihasilkan.

Di dalam bidang hidrologi, hubungan antara nilai sedimen dan cerapan (Q) dapat memberi pelbagai gambaran terhadap impak sekitaran yang timbul (Mohd Khairul Amri et al. 2009). Justeru itu, punca terhadap pertambahan luahan yang memberi kesan terhadap penghasilan sedimen haruslah dilihat. Kadar hujan bulanan, perubahan guna tanah, hakisan tebing dan sebagainya haruslah dilihat bagi mengenal pasti permasalahan yang timbul.



Rajah 2: Hubungan antara nilai muatan sedimen dan luahan (Q) di Sungai Chini

Jadual 3 menunjukkan perbandingan luas kawasan tadahan dengan muatan sedimen bagi beberapa sungai terpilih di Malaysia. Perbandingan nilai muatan sedimen bagi kawasan lembangan Sungai Chini dengan sungai-sungai lain yang mempunyai luas lembangan yang tidak jauh bezanya adalah amat tinggi. Misalnya nilai muatan sedimen bagi Sungai Anak Bangi, Selangor yang mempunyai keluasan lembangan 3.7 km² merekodkan kepekatan muatan sedimen sebanyak 10.186 tan/km²/tahun, manakala Sungai Chini mencatatkan nilai muatan sedimen sebanyak ± 77 kali ganda, iaitu 787.621 tan/km²/tahun dengan keluasan 4.36 km². Ini menunjukkan jumlah penghasilan sedimen di kawasan lembangan ini adalah tinggi dibandingkan dengan sungai-sungai terpilih yang telah dikaji di Malaysia.

Jadual 3: Luas kawasan tadahan dan muatan sedimen bagi kajian sungai terpilih di Malaysia

Kawasan Kajian	Luas Kawasan (km ²)	Purata Muatan Sedimen (tan/km ² /tahun)	Sumber
Sungai Sipitang, Sabah	0.15	54.431	Malmer A. & Grip H. (1990)
Sungai Relau, Pulau Pinang	8.9	2,450.305	Wan Ruslan & Zullayadini (1994)
Sungai Anak Bangi, Selangor	3.7	10.186	Mohd Ekhwan et al. (2006)
Sungai Chini, Pahang	4.36	787.621	Hasil Kajian (2009)

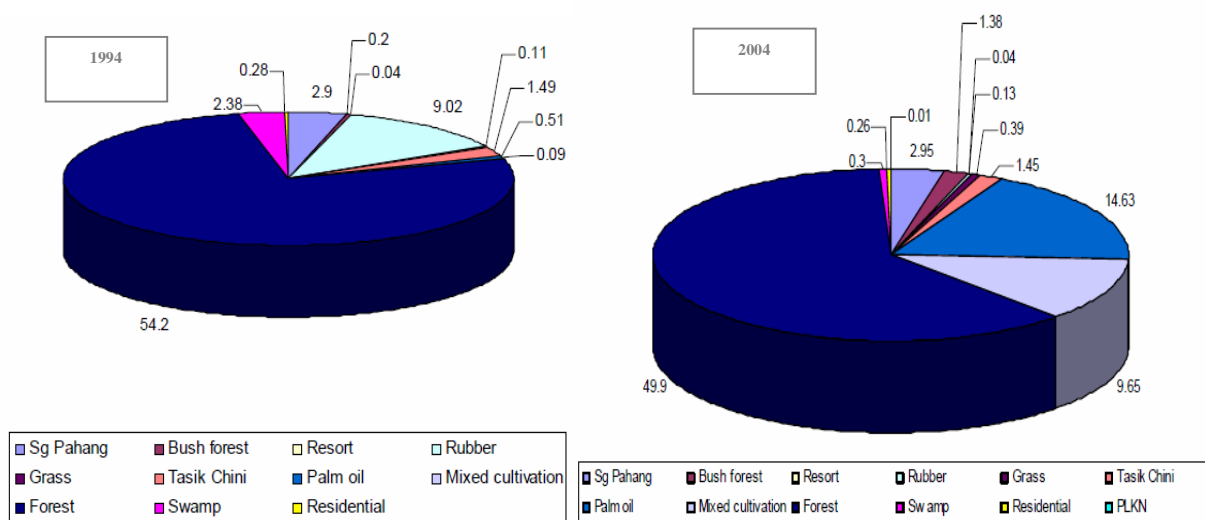
Hubungan antara luas kawasan tadahan (lembangan) dengan muatan sedimen bagi kajian sungai-sungai terpilih di Malaysia menunjukkan hubungan yang signifikan, iaitu $R^2=0.824$ dengan kekuatan peramalan regrasi 82.4% (Rajah 3). Ini menunjukkan hubungan yang jelas di mana semakin luas lembangan semakin tinggi muatan sedimen tahunan yang dapat dihasilkan. Dengan kata lain, perubahan aktiviti keseluruhan lembangan bagi sesuatu sungai akan memberi impak terhadap penghasilan sedimen di dalam sungai tersebut. Justeru itu, perubahan guna tanah, kewujudan kawasan terbuka dan sebagainya memberi kesan langsung terhadap penghasilan sedimen di tasik dan mengalir terus ke Sungai Chini.

Rajah 3: Hubungan luas lembangan dan muatan sedimen bagi kajian sungai terpilih di Malaysia

PUNCA SEDIMENTASI DI SUNGAI CHINI

(a) Perubahan Guna tanah

Rajah 4 menunjukkan perubahan guna tanah yang berlaku di sekitar lembangan Tasik Chini pada awal tahun 1994 hingga 2004 (Muhammad Barzani, et al. 2006). Dalam tempoh sepuluh tahun sahaja, perubahan guna tanah yang agak ketara telah berlaku. Kawasan hutan simpan sejumlah 4.3% telah hilang (iaitu 54.2% pada tahun 1994 kepada 49.9% tahun 2004) dan digantikan dengan kawasan pertanian seperti getah dan kelapa sawit, pembangunan pelancongan, kawasan penempatan dan sebagainya. Aktiviti penerokaan hutan yang pesat telah menyebabkan wujudnya kawasan terbuka dan akhirnya terdedah kepada proses hakisan. Dengan purata hujan tahunan di Sungai Chini yang agak tinggi, iaitu 5,314.6 mm (Jabatan Meteorologi Malaysia. 2008), proses hakisan tanah lebih mudah berlaku.



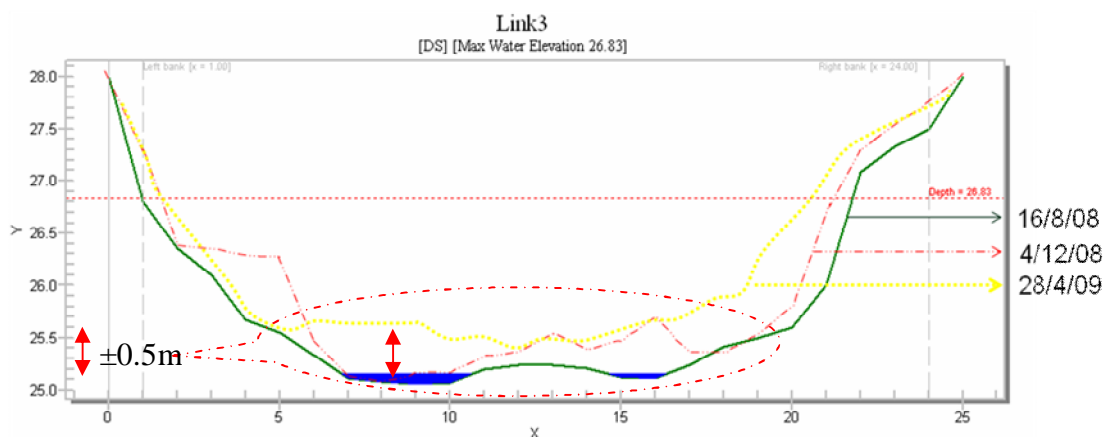
Rajah 4: Perubahan guna tanah di lembangan Tasik Chini bagi tahun 1994 – 2004

Sumber: Muhammad Barzani et al. 2006

Bagi mengawal hakisan yang menyumbang kepada sedimentasi, kaedah ketumpatan kanopi hutan yang stabil adalah amat sesuai kerana ia memainkan peranan dalam mengurangkan hakisan permukaan. Lapisan kanopi yang berlapis-lapis berfungsi sebagai penurasan yang baik melalui proses pintasan dan sekali gus dapat mengurangkan kesan hakisan percikan oleh titisan hujan (Mohd Ekhwan & Shukor 2006). Justeru itu, segala bentuk aktiviti yang berpotensi menghasilkan kawasan terbuka di dalam lembangan haruslah dikawal dan dipantau.

(b) Baraj di Hilir Sungai Chini

Baraj yang terdapat di hilir Sungai Chini merupakan struktur binaan yang dibina hanya untuk mengawal aras air bagi tujuan pergerakan navigasi bot untuk pelancongan. Walau bagaimanapun, tanpa pembinaan kemudahan saluran keluar sedimen telah menyebabkan sedimen terperangkap dengan lebih mudah di bahagian hadapan muka baraj. Rajah 5 menunjukkan hasil pemodelan perubahan keratan rentas di muara Sungai Chini. Hasil kajian menunjukkan berlakunya pemendapan yang ketara disebabkan sedimen yang terhalang oleh baraj, iaitu sebanyak ± 0.5 meter. Pada musim hujan, pemendapan berlaku lebih sedikit daripada musim selepas hujan. Hal ini kerana pada musim hujan dan normal, baraj masih berfungsi yang mana aliran sungai yang mengangkut sedimen masih boleh mengalir keluar dari baraj. Akan tetapi, sewaktu musim selepas hujan, isipadu air telah berkurangan sehingga tidak boleh mengalir keluar dan ini memudahkan sedimen terampai termendap dan menjadi sedimen dasar.

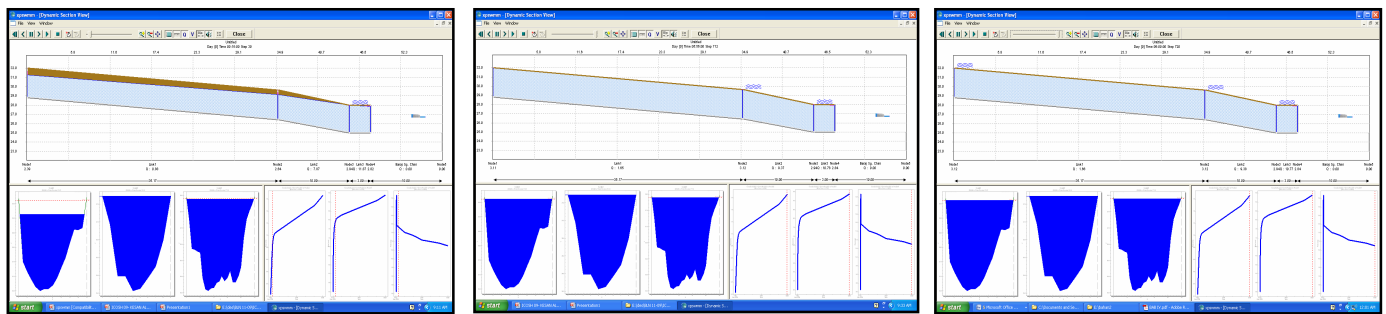


Rajah 5: Perubahan keratan rentas di S3 Sungai Chini sepanjang kajian dijalankan

(c) Aliran Songsang (Fenomena Semulajadi)

Aliran songsang (*back flow*) merupakan aliran abnormal waktu banjir akibat kemasukan air sungai Pahang ke Sungai Chini. Hasil pemodelan simulasi yang dijalankan telah berjaya membuktikan kewujudan aliran ini (Rajah 6). Pada minit ke-3 simulasi yang dijalankan didapati *nod* di stesen 3, iaitu di bahagian hilir sungai adalah *nod* yang pertama akan ditenggelami air apabila banjir berlaku. Keputusan analisis juga mendapati kadar luahan (Q) adalah $13.67 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan halaju 1.34 m/s . Seterusnya, *nod* yang ditenggelami air adalah *nod* 2 pada tempoh waktu 5 jam 56 minit dengan luahan $9.37 \text{ m}^3/\text{s}$ dan halaju 0.89 m/s . Manakala sehingga simulasi tamat dijalankan, iaitu selama 6 jam, *nod* 1 juga ditenggelami air dengan kadar luahan yang agak rendah berbanding *nod* 1 dan *nod* 2, iaitu $1.66 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan halaju 0.05 m/s . Nisbah nilai luahan yang tinggi dengan halaju air yang rendah dan tempoh masa yang lama bagi *nod* 2 dan *nod* 1 untuk tenggelam adalah disebabkan wujudnya fenomena

aliran songsang (*back-flow*). Aliran ini akan membawa bersama sedimen dari Sungai Pahang dan dimendapkan di Sungai Chini.



(Simulasi pada 00.03)

(Simulasi pada 05.56)

(Simulasi jam ke 6-simulasi)

Rajah 6: simulasi aliran songsang di Sungai Chini

Fenomena aliran songsang dari satu aspek adalah penting di mana Tasik Chini berfungsi sebagai takungan air semulajadi bagi khususnya ketika musim banjir. Dapat dijelaskan, sewaktu hujan berlaku dengan banyak dan Sungai Pahang tidak mampu mengawal limpahan air dari hulu, maka Tasik Chini akan menyimpan air secara semulajadi seterusnya mengurangkan magnitud banjir lebih besar daripada berlaku di bahagian hilir Sungai Pahang. Namun begitu, kemasukan air Sungai Pahang beserta sedimen terampai yang banyak telah menyumbang kepada pemendapan sedimen yang aktif dan bersaiz halus. Keadaan menjadi lebih buruk apabila wujudnya baraj yang tidak mempunyai fungsi untuk melepaskan sedimen dasar hingga menyebabkan air Sungai Pahang beserta sedimen yang masuk ketika musim hujan terhalang dan terperangkap.

(d) Hakisan Tebing (Semulajadi dan Navigasi Bot)

Hakisan tebing sungai merupakan hakisan yang berlaku secara semulajadi, di mana aliran air di dalam alur digerakkan oleh daya graviti dan daya ini menghasilkan tekanan ke atas tebing sungai tersebut lalu terhakis (Strahler 1978). Di Sungai Chini, hakisan tebing yang berlaku adalah agak kritikal dan tinggi sehingga menyebabkan tumbangnya pokok besar yang berada di tebing sungai. Umumnya, kadar kelajuan air yang tinggi dan isipadu air sungai yang banyak mempunyai kadar hakisan yang kuat berbanding kelajuan air yang perlahan dan isipadu air yang sedikit. Kumin tanah yang terhakis akan masuk ke dalam sungai sebagai sedimen. Di dalam Rajah 2, hubungan luahan dan penghasilan muatan sedimen yang sangat signifikan ($R^2=0.980$) menunjukkan hubungan yang positif terhadap hakisan, di mana semakin tinggi luahan, semakin tinggi hakisan dan semakin tinggi muatan sedimen yang diperolehi.

Menurut Strahler (1978), aliran air sungai dipengaruhi oleh turbulen, iaitu satu sistem pusaran air yang sentiasa terbentuk dan menghilang. Oleh itu, sesuatu molekul air sebenarnya bergerak dengan cara yang tidak teratur dan berpusar-pusar ketika mengalir ke hilir. Molekul air mungkin bergerak ke atas ke bawah dan ke atas semula. Malahan kelajuan air di bahagian tengah sungai lebih laju dan kuat berbanding di bahagian tepi alur sungai. Menurut Sahibin, et al. (2009), tebing Sungai Chini adalah didominasi oleh tekstur berlempung. Jenis tekstur berlempung akan menyebabkan tebing sungai mudah terhakis apabila wujudnya aliran atau ombak yang luar biasa. Tambahan pula, penggunaan bot bagi tujuan pelancongan dan kegunaan penduduk setempat telah mewujudkan turbulen yang tinggi lebih-lebih lagi bagi bot yang menggunakan kuasa enjin yang besar. Belahan arus bot yang laju akan menyebabkan wujudnya ombak yang besar dan menghentam tebing sungai sehingga menyebabkan hakisan

menjadi lebih aktif dan bertambah buruk. Hakisan tebing ini akhirnya menyumbang kepada penghasilan sedimen terampai dan sedimen dasar di Sungai Chini.

CADANGAN KAJIAN

Berdasarkan kajian yang dijalankan, punca sedimentasi yang tinggi berlaku di Sungai Chini telah dikenalpasti. Justeru itu, beberapa kaedah pengurusan, pengawalan dan pemuliharaan dicadangkan bagi mengurangkan masalah ini.

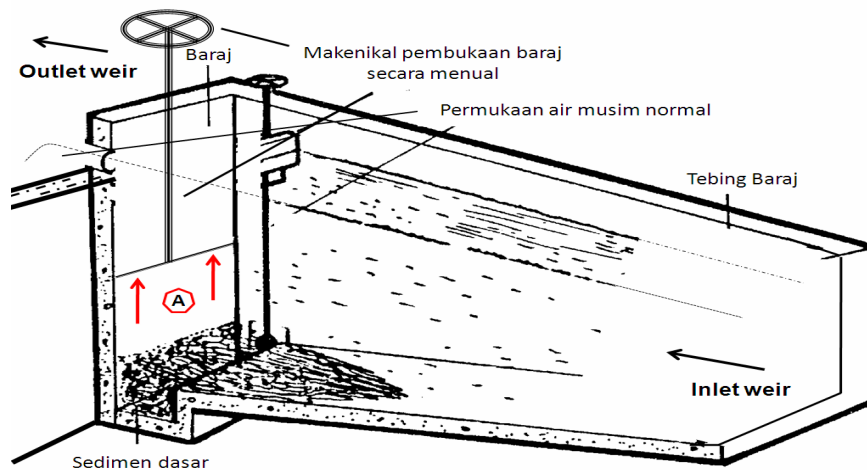
(a) Penyelesaian Perubahan Guna Tanah

Perubahan guna tanah yang ketara berlaku seperti pertanian dan perlombongan sehingga mewujudkan kawasan terbuka merupakan antara punca kepada sedimentasi di Tasik dan terus ke Sungai Chini. Justeru itu, kajian ini mencadangkan kewujudan kawalan undang-undang bagi mengawal aktiviti guna tanah yang tidak terancang di lembangan ini. Cadangan mewujudkan sempadan pengezonan bagi tasik dan sungai-sungai yang terdapat di dalam kawasan lembangan Tasik Chini termasuklah sungai utama, merupakan langkah bijak dalam menangani masalah ini. Kewujudan zon-zon yang terpelihara bukan sahaja akan mengurangkan kemasukan sedimen dari aliran permukaan terus ke sungai-sungai utama, malah ia akan mewujudkan dan megekalkan habitat semulajadi bagi flora dan fauna yang terdapat di sekitar kawasan ini.

Tasik Chini merupakan tarikan pelancongan negara, justeru itu, guna tanah kawasan ini tetap akan berubah bagi menyediakan kemudahan infrastruktur untuk tujuan pelancongan. Namun bergitu, kajian mencadangkan pembangunan dan guna tanah yang lestari serta mapan sahaja boleh dijalankan di dalam lembangan ini. Sistem saliran bio-ekologi MASMA dianggap sistem yang sesuai diaplikasikan di kawasan ini (Abdullah et al. 2004). Sistem ini akan memastikan air larian yang keluar dari kawasan yang dibangunkan adalah air yang bersih dan mengikut piawaian yang ditetapkan.

(b) Penyelesaian Baraj Di Hilir Sungai Chini

Bagi masalah baraj yang terdapat di hilir Sungai Chini, kajian ini mencadangkan pengubahsuaian terhadap struktur baraj agar sedimen yang terperangkap boleh diangkut keluar melalui aliran semulajadi. Rajah 7 menunjukkan keratan rentas baraj yang dicadangkan. Di mana, mekanikal A ditambah dan diubahsuai dari baraj yang sedia ada di hilir Sungai Chini. Apabila kekunci tersebut dibuka maka sebahagian bawah baraj akan turut terbuka. Seterusnya secara automatik sedimen dasar akan dikeluarkan dengan menggunakan tenaga graviti dan tekanan yang terdapat pada air tersebut. Dengan ini, masalah sedimen dasar yang termendap di kawasan baraj dapat diatasi dengan mudah. Namun bergitu, kaedah manual ini memerlukan penyelenggaraan yang berkala dan kerap, di mana struktur mekanikal ini perlu dibuka dan ditutup selalu berdasarkan kadar masa yang ditetapkan (berpandukan corak pendedapan yang berlaku).



Rajah 7: Contoh sistem pelepasan sedimen dasar yang berfungsi secara manual

(c) Penyelesaian Aliran Songsang (Fenomena Semulajadi)

Aliran songsang merupakan fenomena penting dalam mengurangkan magnitud banjir di bahagian hilir Sungai Pahang. Pada musim selepas hujan, sedimen akan diangkut keluar beserta air Sungai Pahang yang keluar selepas berlakunya fenomena ini. Bagaimanapun, sedimen akan termendap di muka baraj. Justeru itu, kajian ini mencadangkan pengaplikasian sistem baru "*Monkey Cheek*" seperti mana yang telah dibangunkan di Bangkok, Thailand. Sistem ini menggunakan sistem semulajadi dengan mengumpul atau mengempang aliran air pada anak sungai, seterusnya melepaskannya ketika air itu diperlukan (musim kering). Tekanan aliran air yang dilepaskan boleh membantu mengangkut sedimen keluar dari Tasik dan Sungai Chini terutamanya pada musim kering.

Di kawasan kajian, sistem ini dicadangkan dengan mengempang air dari anak sungai ketika musim hujan. Hal ini kerana, aras air Tasik Chini boleh meningkat di antara dua hingga enam meter dari aras air musim normal. Air ini akan dilepaskan ketika aliran Sungai Chini kembali normal, iaitu selepas fenomena aliran songsang. Dengan halaju dan luahan air yang tinggi dilepaskan sekali gus, sedimen yang dibawa masuk oleh Sungai Pahang akan dibersihkan serta-merta oleh air yang dilepaskan oleh sistem ini (*Monkey Cheek*).

(d) Penyelesaian Hakisan Tebing (Semulajadi dan Navigasi Bot)

Di Sungai Chini, hakisan tebing merupakan antara penyumbang kepada penghasilan sedimen terampai dan sedimen dasar. Kawalan struktur hakisan tebing sungai biasanya dibuat dengan membina tembok hakisan. Tembok yang lazim digunakan ialah struktur "*gabion*" atau sangkar batu sebagai penghadang hakisan. Di Sungai Chini, kajian mencadangkan pembinaan tebing kawalan hakisan dengan menggunakan bahan yang lebih semulajadi seperti "*fibre rol*". Selain itu, penanaman pokok penghadang hakisan seperti rasau, ban air dan sebagainya juga dicadangkan bagi mengatasi masalah hakisan tebing sekaligus menjadi penapis sedimen semulajadi bagi sungai tersebut. Dari hasil kajian, had laju dan kapasiti kuasa enjin bot yang di gunakan di Sungai Chini haruslah dikawal. Ciri hakisan yang bersifat '*cantilever*' atau tergantung menunjukkan hakisan berlaku melalui proses pengorekan dari bawah. Fenomena ini disebabkan oleh hentaman ombak yang kuat dan laju ke arah tebing akibat dari pergerakan bot. Oleh itu, kesedaran kepada pemandu bot yang menggunakan Sungai Chini haruslah

diterapkan. Mungkin melalui kewujudan papan tanda had laju di sepanjang Sungai Chini dapat memberi kesedaran kepada para pemandu bot.

KESIMPULAN

Berdasarkan permasalahan yang dikenalpasti, beberapa cadangan telah dikemukakan bagi mengatasi masalah sedimentasi di Sungai Chini. Walau bagaimanapun, cadangan ini hanya berdasarkan kajian saintifik yang dibuat oleh kumpulan pengkaji. Justeru itu, bagi melaksanakannya, kajian yang lebih rapi dan mendalam terhadap setiap penyelesaian haruslah dijalankan. Hal ini adalah bagi mengelakkan pelbagai masalah lain yang akan timbul kesan dari pembinaan penyelesaian yang dicadangkan. Secara keseluruhannya, Pemendapan sedimen yang aktif pada musim hujan terutamanya di S3 hilir Sungai Chini adalah agak serius. Jika fenomena ini berterusan akan memusnahkan nilai estetika dan fungsi Sungai Chini yang menghubungkan Tasik Chini dengan Sungai Pahang. Justeru itu, beberapa inisiatif dan langkah pemuliharaan seperti yang dibincangkan di atas haruslah diberi perhatian dan diambil tindakan dengan segera agar masalah sedimentasi di Sungai Chini dapat diminimakan.

PENGHARGAAN

Kajian ini dijalankan melalui geran OUP-PLW-13-54/2009. Penulis merakamkan ucapan jutaan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia dan Pusat Penyelidikan Tasik Chini (PPTC) di atas bantuan yang diberikan.

RUJUKAN

- Abdullah. R, N.A. Zakaria, A. Ab. Ghani, L.M. Sidek, A. Ainan & L.P. Wong. 2004. BIOECODS Modelling Using SWMM. *The 6th Int. Conf. on Hydrosience and Engineering (ICHE-2004)*, May 30-June 3, Brisbane, Australia. <http://www.xpsoftware.com.au/news/casestudies/BIOECOD%20modelling%20using%20xpswmm.pdf> (17 November 2008).
- Gan Pek Chuan & Abdul Aziz Bidin. 2005. Kepelbagaian Tumbuhan dan Pengurusan Tanah Bencah. Dlm Mushrifah Idris, Khatijah Hussin & Abdul Latiff Mohamad (pnyt.). *Sumber Asli Tasik Chini*, hlm. 102-125. Sumber Asli Tasik Chini. Bangi: Penerbit Universiti Kebangsaan Malaysia. ISBN 967-942-743-9.
- Jabatan Meteorologi Malaysia. 2008. Rekod Cuaca bagi Semenanjung Malaysia. Kuala Lumpur.
- Malmer, A. & Grip, H. (1990). Soil disturbance and loss of infiltrability caused by mechanized and manual extraction of tropical rainforest in Sabah, Malaysia, *Forest Ecology and Management*, 38: 1-12.
- Mohd Ekhwan Toriman, Mushrifah Idris, Nor Rohaizah Jamil, Muhammad Barzani Gasim, Pua Hock Wei, Nor Azlina Abd Aziz & Mohd Khairul Amri Kamarudin. 2009. *Temporal Variation in the Sediment Yield the Tasik Chini Feeder Rivers and the Influences of Human Activities*. Dlm Jumaat H. Adam, Muhammad Barzani Gasim & Zaini Sakawi. (Pnyt). *Bio-Kejuruteraan & Kelestarian Ekosistem*. Penerbit UKM, hlm 221-235. ISBN: 978-983-44502-1-2.

- Mohd Ekhwan Toriman. 2007. *Geografi Alam Sekitar Fizikal 1*. Penerbit Oxford Fajar Sdn. Bhd. Kuala Lumpur. hlm 53.
- Mohd Ekhwan Toriman, Mazlin Mokhtar, Othman Karin, M. Barzani & Raihan Taha. 2006. *Short-Term Sediment Yield From Small Catchment of Sungai Anak Bangi, Selangor*. Bangi: Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Mohd Ekhwan Toriman & Shukor Md. Nor. 2006. An analysis of rain interception on the selected experimental plot of Pangkor Hill Reserved Forest. *Journal Wildlife and National Park*. hlm 169-178.
- Mohd Khairul Amri Kamarudin, Mohd Ekhwan Toriman, Sharifah Mastura S.A., Mushrifah Hj. Idris, Nor Rohaizah Jamil and Muhammad Barzani Gasim. 2009. Temporal Variability On Lowland River Sediment Properties And Yield. *American Journal of Environmental Sciences* 5(5): 657-663, 2009. ISSN: 1553-345X.
- Muhammad Barzani Gasim, Mohd. Ekhwan Toriman, Sahibin Abd Rahim, Mir Sujaul Islam, Tan Choon Chek & Hafizan Juahir. 2006. Hydrology and Water Quality and Land-use Assessment of Tasik Chini's Feeder Rivers, Pahang Malaysia. *Geografia* Vol. 3 Issue 3 (1-16). ISSN 0126-7000.
- Mushrifah Idris & Ahmad Abas Kutty. 2005. Tren of Physico-chemical Water Quality. Dlm. Mushrifah Idris, Khatijah Hussin & Abdul Latiff Mohamad (pnyt.). *Sumber Asli Tasik Chini*, hlm. 20-29. *Sumber Asli Tasik Chini*. Universiti Kebangsaan Malaysia. Bangi. ISBN 967-942-743-9.
- Noorazuan Md Hashim, Jalaluddin M. Saad, Noor Farizam Othman, Wong Ka Mei & Hani Ab Rani. 2001. Kajian Angkutan Sedimen Dan Beban Dasar Sungai Di Lembangan Sungai Hijau Bukit Fraser. Dlm A. Latif, Zuriati Zakaria, Zaidi M. Isa, Kamarudin Mat Salleh, Noorazuan Md Hashim dan Laily Din. (Pnyt). *Bukit Fraser: Persekitaran Fizikal, Biologi dan sosio-ekonomi*. Penerbit UKM. Malaysia, hlm 11-21. ISBN 983-2446-22-8.
- Sahibin Abd. Rahim, Tukimat Lihan, Muhammad Barzani Gasim, Mohd Nizam Mohd Said, Wan Mohd. Razi Idris, Azman Hashim, Sharilnizam Mohd Yusof & Munirah Abd Aziz. Dlm. Mushrifah Idris, Mohammad Shuhaimi Othman, Sahibin Abd Rahim, Khatijah Hj Hussin & Nur Amelia Abas. 2009. *Sumber Asli Tasik Chini, Ekspedisi Saintifik*. Fakulti Sains dan Teknologi. Universiti Kebangsaan Malaysia. Bangi. hlm 121-138. ISBN 978-983-44502-1-2.
- Strahler, A.N. 1978. Terj. *Geografi Fizikal*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Sulong Mohamad. & Mohd Ekhwan Toriman 2006. Implikasi struktur kunci air ke atas aktiviti pelancongan dan penduduk di sekitar Sungai Chini dan Tasik Chini, Pahang. *Journal E-Bangi*. 1 (1): 1-13. ISSN 1823-884X.
- Wan Ruslan Ismail. 1994. *Pengantar hidrologi*. Kuala lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka. ISBN 983-62-4434-4.

Wan Ruslan & Zullyadini A. Rahman. 1994. The Impact of Quarrying Activity on Suspended Sediment Concentration and Sediment Load of Sungai Relau Pulau Pinang, Malaysia. *Malaysia Journal of Tropical Geography*. 25(1): hlm 45-57.

Web to Monkey Cheek, http://www.chaipat.or.th/chaipat_old/n_stage/activities_e/enter_eng_activities1.html 22. (Januari 2009).

Prof. Madya Dr. Mohd Ekhwan Hj Toriman & Khairul Amri Kamarudin
Pusat Pengajian Sosial Pembangunan & Persekitaran, FSSK,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600. Bangi Selangor.
Email: ikhwan@ukm.my, amri.ukm@gmail.com

Prof. Dato' Dr. Mushrifah Hj Idris, Prof Madya Dr. Muhammad Barzani Gasim
& Nor Rohaizah Jamil
Pusat Pengajian Sains Sekitaran & Sumber Alam, FST,
Universiti Kebangsaan Malaysia.
43600, Bangi Selangor Darul Ehsan
Email: mush@ukm.my, dr.zani@ukm.my, norrohaizahjamil@yahoo.com