



Tepubina bandar: Isu dan kaitannya dengan kesihatan ekosistem lembangan saliran

Noorazuan Md Hashim¹, Asmala Hj Ahmad²

¹Pusat Pengajian Sosial, Pembangunan & Persekitaran, Fakulti Sains Sosial & Kemanusiaan, Universiti Kebangsaan Malaysia, ²Jabatan Sains dan Matematik, Pusat Perkhidmatan Akademik, Kolej Universiti Teknikal Kebangsaan Melaka (KUTKM)

Correspondence: Noorazuan Md Hashim (email: azwan@ukm.my)

Abstrak

Penyelidikan terhadap pengaruh tepubina bandar terhadap tahap kesihatan ekosistem lembangan menjadi agenda utama di dalam penyelidikan hidrologi lembangan saliran, sama ada di negara maju mahupun di negara membangun. Kertas ini bertujuan mengutarakan tepubina bandar sebagai petunjuk kesihatan ekosistem sungai dengan mengupas isu-isu global dan lokal yang berkait rapat dengan tepubina bandar, pembangunan metodologi penyelidikannya dan hubungkaitannya dengan pengurusan lembangan saliran serta meninjau potensi kepenggunaannya sebagai satu petunjuk kesihatan ekosistem lembangan saliran di Malaysia. Penelitian yang dilakukan di sub-lembangan Langat Stesen Bt 11 telah membuktikan kesan peningkatan kawasan tepubina terhadap kualiti air sungai. Peningkatan kawasan bandar dan tepubina yang menjadi petunjuk kepada pertambahan aktiviti pembangunan fizikal bermula pada tahun 1988 telah dilihat menyumbang kepada peningkatan pepejal terampai (SS) dalam air sungai. Pertambahan penduduk akibat proses perbandaran dapat dikaitkan dengan pertambahan bahan buangan domestik serta kumbahan yang mengakibatkan parameter seperti COD, BOD dan Ammonikal-Nitrogen mencatatkan tahap pencemaran yang serius. Kertas ini menyimpulkan bahawa sekurang-kurangnya piawai peratusan tepubina yang disarankan oleh model Schueler (1994) boleh dijadikan sandaran untuk merancang pembangunan bandar baru mahupun membina semula infrastruktur bandar khususnya sistem saliran bandar bagi mengelakkan masalah alam sekitar seperti pencemaran air dan banjir kilat.

Katakunci: buangan domestik, hidrologi lembangan, kesihatan ekosistem, model Schueler, pepejal terampai, tepubina bandar

Urban imperviousness: Issues and implications to the ecosystem health of a river basin

Abstract

Investigating urban imperviousness impact, in particular, the effects of urban imperviousness on ecosystem health has become an important agenda in catchment hydrological studies, both in developed and developing countries. This article highlights global and local issues related to imperviousness, its research methodological development and its potential use as an ecosystem health indicator for catchment areas in Malaysia. Examination of the Langat Stesen Bt 11 sub-basin has proven the heightened effect of urban imperviousness on the river water quality. The acceleration of this urban imperviousness as an indicator of rapid physical development of the study area which began in 1988 has contributed to

increased suspended solids (SS) in the river water. Accelerated urbanisation and population growth may be correlated to increases in domestic wastes and sewage which had led to dramatic readings of parameters such as COD, BOD and Ammonical-Nitrogen indicating serious pollution. The paper concludes that at least imperviousness standards as suggested by the Schueler model (1994) may be relied upon in planning the drainage systems of new towns so that environmental problems such as water pollution and flash floods may be averted.

Keywords: catchment hydrology, domestic waste, ecosystem health, Schueler model, suspended solids, urban imperviousness

Pengenalan

Perbincangan di dalam disiplin hidrologi bandar sering dikaitkan dengan isu kesan tepubina bandar terhadap perilaku luahan sungai. Perbincangan ini telah berjalan seawal tahun 1970-an di Barat, bermula dari kajian lembangan bandar oleh Hollis (1974) di United Kingdom. Walaupun kajian dampak pemandaran terhadap rejim hidrologi telah berlangsung dua dekad sebelum kajian Hollis, namun pendekatan terdahulu hanya mengambilkira peranan umum aktiviti pembangunan dalam konteks gunatanah bandar serta dampaknya terhadap ciri-ciri fizikal parameter hidrologi sungai seperti perubahan kualiti dan kuantitinya.

Selepas Hollis dan Luckett (1976), pendekatan hidrologi bandar telah berubah daripada kajian berasaskan litupan tanah bandar (*urban landcover*), kepada kajian khusus pengaruh kawasan tepubina bandar (*urban imperviousness*), iaitu permukaan tidak telap air yang terbina akibat dari aktiviti pemandaran. Kini, penelitian pengaruh tepubina bandar menjadi agenda utama di dalam penyelidikan hidrologi lembangan saluran, sama ada di negara maju (Zandbergen, 1998; Cresser & Pugh, 1996; Barnes, et.al, 1997), mahupun di negara membangun (Kadaruddin & Noorazuan, 2005; Ruslan, 2001: 2003; Feng & Feng, 2001) demi memahami keseimbangan di antara alam sekitar dan pembangunan serta perubahan terhadap tahap kesihatan ekosistem lembangan terbandar.

Tepubina bandar telah dirujuk sebagai petunjuk bersepadu (*integrative indicator*) di dalam pengurusan bersepadu lembangan saluran (Brun & Band, 2000; Environment Protection Agency, 1997; Zandbergen, 1998), malahan sedang dimajukan untuk membentuk indeks bandar yang mampu mencerminkan hubungan simbiosis di antara sektor pembangunan dan persekitaran di dalam sesebuah ekosistem bandar (Schueler, 1994). Dari aspek hidrologi lembangan, keupayaan permukaan tidak-telap bandar yang menghalang proses penyusupan dan penelusan boleh mengakibatkan perubahan di dalamimbangan air sesebuah lembangan.

Justeru, aplikasi maklumat tepubina bandar di dalam pengurusan bersepadu lembangan saluran khususnya untuk program tebatan banjir, pengelasan lembangan saluran berdasarkan tahap ekosistem kesihatannya serta pengurusan dan perancangan sumber air di masa hadapan adalah amat signifikan. Artikel ini mengupas isu-isu global dan lokal yang berkait rapat dengan tepubina bandar, pembangunan metodologi penyelidikannya dan hubungkait dengan pengurusan lembangan saluran serta meninjau potensi kepenggunaannya sebagai satu petunjuk kesihatan ekosistem lembangan saluran di Malaysia.

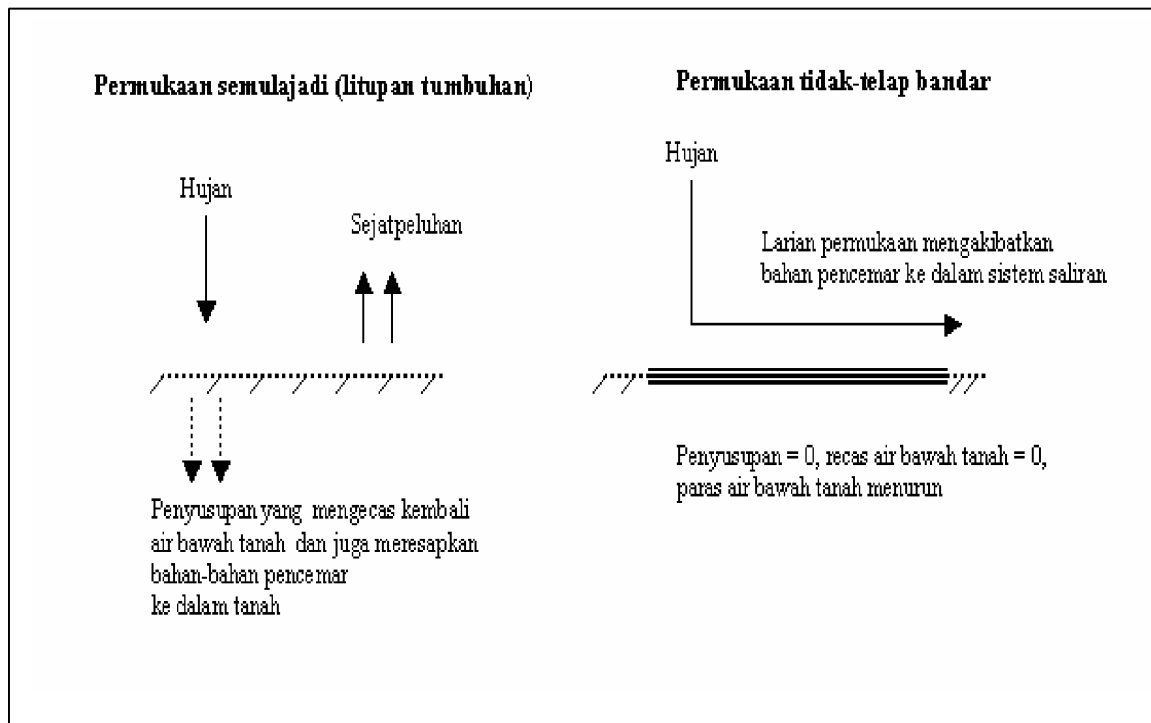
Kajian tepubina bandar dalam hidrologi lembangan

Litupan tanah bandar terbentuk hasil dari aktiviti pemandaran seperti perumahan, pengangkutan, komersil serta industri dan juga kawasan taman rekreasi bandar. Dari aspek hidrologi gunaan, litupan tanah bandar boleh dikelaskan kepada dua jenis litupan tanah utama iaitu a) permukaan telap air dan b) permukaan tepubina. Kawasan telap air bandar boleh terdiri sama ada kawasan berumput atau pun taman hijau. Kajian-kajian klasikal sering mengambilkira aspek ruwang gunatanah bandar (kawasan telap air dan tepubina) di dalam menentukan dampaknya terhadap kitaran hidrologi. Justeru, hampir setiap hasil kajian lepas menghasilkan ralat di dalam

menentukan kesahihan dampak (seperti peningkatan air larian) kerana mengambilkira gabungan peranan kedua-dua permukaan di dalam ruang gunatanah bandar.

Menurut NEMO (2000) serta Bedient dan Huber (1988), permukaan tepubina bandar merupakan permukaan litupan tanah yang paling efektif mempengaruhi ciri-ciri hidrologi luahan sungai khususnya di dalam kajian yang berasaskan kepada skala lembangan saliran. Justeru, di dalam kajian hidrologi bandar, permukaan tepubina bandar sepatutnya dipisahkan dari sempadan litupan bandar yang lain bagi memperlihatkan kesan ketidaktelapan permukaan bandar terhadap rejim hidrologi.

Kawasan tepubina bandar merupakan permukaan bandar yang menghalang kemasukan air ke dalam tanah melalui penyusupan dan penelusan bagi mengecas kembali storan air bawah tanah (Ferguson, 1998). Ia boleh terbentuk daripada permukaan seperti jalanraya berturap, bumbung bangunan, kawasan letak kereta berturap dan juga kawasan permainan yang menggunakan padang sintetik. Dari aspek persekitaran, permukaan tidak telap bandar boleh mempengaruhi kuantiti dan kualiti air misalnya jumlah air larian permukaan dan bahan pencemar akan semakin meningkat, berkadaran dengan peratusan permukaan tersebut (Rajah 1).



Sumber: Noorazuan & Siti Aisah, 2006

Rajah 1. Perbezaan konseptual perubahan hidrologi di antara permukaan semulajadi dan tepubina bandar

Ketidaktelapan permukaan bandar mengakibatkan pertambahan isipadu air larian permukaan dan mengubah entiti hidrograf sesebuah lembangan, terutamanya masa susulan dan nilai puncak luahan. Ketidaktelapan permukaan bandar juga merupakan parameter penting di dalam meramalkan keadaan hidrograf luahan sungai (Bedient & Huber, 1988). Beberapa badan penyelidik tepubina bandar (Schueler, 1994 ; NEMO, 2000; Barnes, Morgan & Roberge, 2001) telah menyimpulkan takat ambang di antara ketidaktelapan bandar dengan 'kesihatan ekosistem' sesebuah lembangan saliran, iaitu:

- Terdapat 10 peratus daripada kawasan lembangan saliran dilitupi dengan ketidaktelapan permukaan bandar, keadaan sungai (kualiti dan kuantiti) biasanya terkawal, walaupun terdapat sistem sungai yang sensitif menunjukkan keadaan tertekan (*stressed*).

- Terdapat 11 hingga 25 peratus daripada kawasan lembangan saliran dilitupi dengan ketidaktelapan permukaan bandar, keadaan sungai (kualiti dan kuantiti) biasanya telah mula menunjukkan dampak negatif. Namun, penebatan dan pemuliharaan masih dapat diusahakan bagi mengawal keadaan.
- Terdapat lebih 25 peratus daripada kawasan lembangan saliran dilitupi dengan ketidaktelapan permukaan bandar, sistem (ekosistem) lembangan saliran berkenaan akan mengalami degradasi dari segi kualiti kesihatannya.

Schueler (1994) juga telah menjalankan kajian ke atas 40 buah lembangan bandar di Amerika Syarikat dan mendapati kadar kemerosotan kualiti ekosistem sekitaran lembangan meningkat sejajar (korelasi positif) dengan pertambahan permukaan tepubina bandar. Kajian-kajian terdahulu juga turut mengesahkan perubahan parameter hidrologi akibat daripada dampak tepubina bandar.

Pihak Environment Protection Agency (1997) telah merumuskan beberapa senario dampak tepubina terhadap ekosistem lembangan serta ekologi persisirannya (Jadual 1). Peningkatan isipadu luahan, sebagai contoh, bukan sahaja mencetuskan banjir malahan boleh memberi impak lain seperti kehilangan habitat di zon persisir air-tanah, hakisan, pelebaran alur dan juga perubahan morfologi dasar sungai.

Jadual 1. Potensi impak tepubina bandar terhadap ekosistem lembangan saliran

Peningkatan tepubina bandar mengakibatkan senario di bawah	Impak				
	Banjir	Kehilangan habitat	Hakisan	Pelebaran alur	Perubahan dasar sungai
Peningkatan isipadu luahan sungai	*	*	*	*	*
Peningkatan puncak luahan	*	*	*	*	*
Peningkatan tempohmasa luahan	*	*	*	*	*
Peningkatan suhu badan air		*			
Pengurangan air bawah tanah		*			
Perubahan beban sediment	*	*	*	*	*

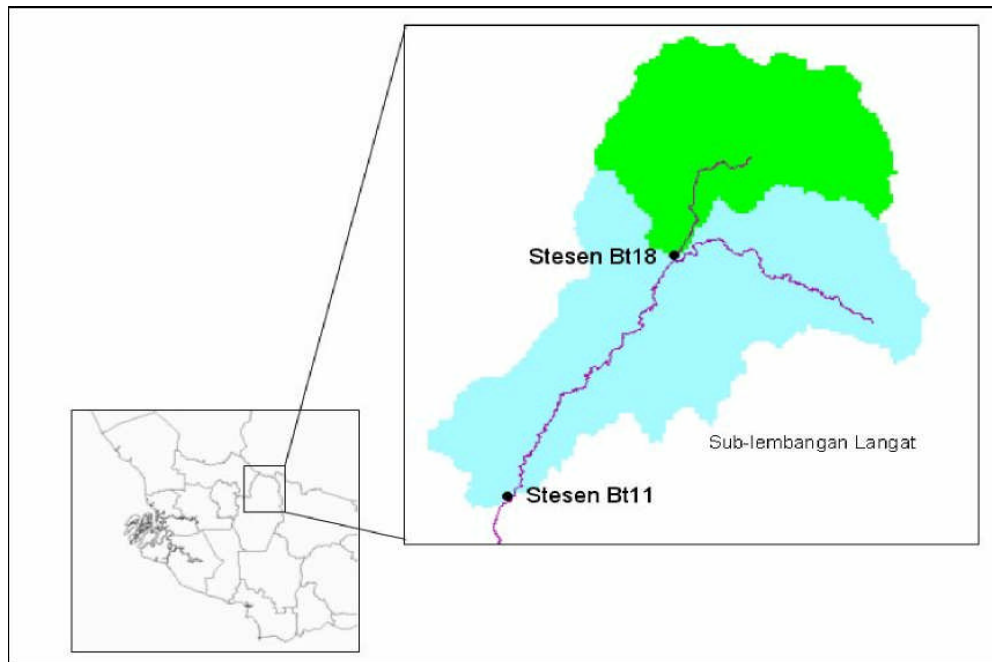
Sumber : Environment Protection Agency 1997

Schueler (1994) telah merumuskan pertalian songsang yang kuat di antara kesihatan ekosistem lembangan dengan peratus litupan tepubina. Ini bermakna, keupayaan lembangan saliran untuk memberikan perkhidmatan ekosistem yang cekap dan bersih akan tergugat apabila jumlah peratusan litupan tepubina meningkat dengan drastik. Berdasarkan kepada hasil kajian Schueler (1994), peratusan tepubina melebihi 25 peratus akan mematikan ekosistem lembangan berkenaan. Kesan perubahan akibat tepubina ini akan lebih kuat dirasai di dalam lembangan yang bersaiz kurang dari 200km persegi (Noorazuan, 2006; Zandbergen, 1998).

Kawasan kajian

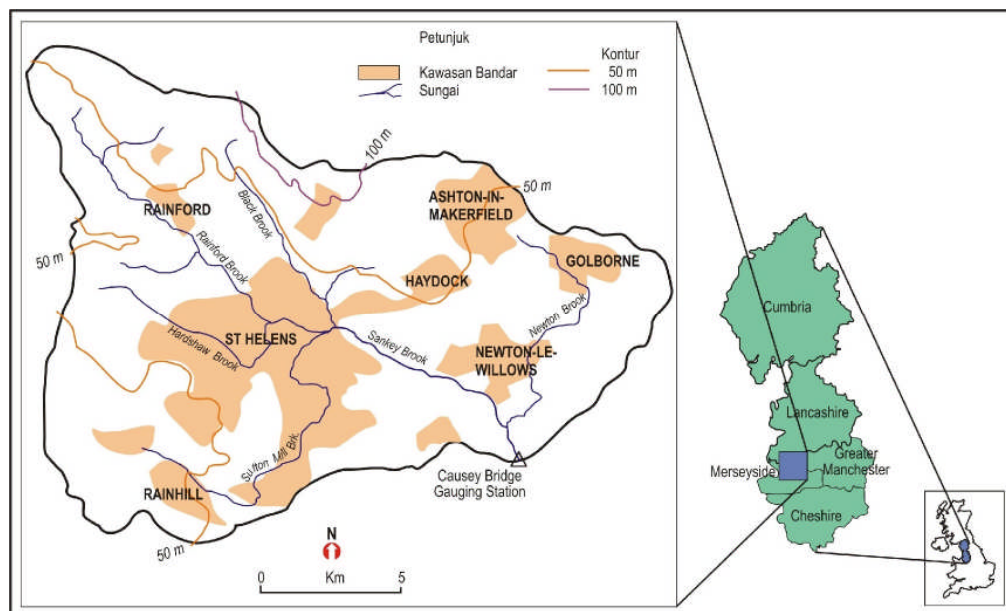
Dua kawasan kajian dipilih bagi mengkaji dampak perubahan litupan bandar dan tepubina bandar ke atas kuantiti dan kualiti air sungai : i) kawasan tadahan sub-lembangan Sg. Langat, Selangor (Rajah 2) dan ii) kawasan lembangan Sankey, United Kingdom (Rajah 3). Kawasan sub-lembangan Sg. Langat dipilih sebagai satu lokasi kajian yang semakin berkembang akibat proses

rebakan bandar (urban sprawl). Ia dipilih bagi melihat kesan perubahan litupan bandar terhadap kualiti air berdasarkan dua buah stesen Jabatan Alam Sekitar (JAS) yang mempunyai litupan bandar yang sangat berbeza.



Sumber: Noorazuan 1998

Rajah 2. Kawasan kajian di sub-lembangan Langat, i) kawasan tadahan stesen Bt 11 dan ii) kawasan tadahan Stesen Bt 18



Sumber: Noorazuan 2006

Rajah 2. Letakan bandar-bandar utama dalam Lembangan Sg Sankey

Antara parameter kualiti air yang dipilih adalah *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Biological Oxygen Demand (BOD)*, *Beban Terampai (SS)* dan juga *Ammonikal-Nitrogen (NH₃-N)*.

Kawasan sub-lembangan Bt 18 dianggap sebagai kawasan tadahan kawalan di mana litupan bandarnya adalah sangat kecil dan tidak berkembang pesat berbanding dengan sub-lembangan Langat Bt 11. Luas keseluruhan kawasan kajian adalah 310 km persegi, di mana 36 peratus darinya adalah kawasan tadahan kawalan.

Kawasan kajian kedua adalah sebuah lembangan bandar yang telah tepu dengan proses rebakan bandar (Rajah 3), namun proses regenerasi bandar (urban renewal) telah mengambil peranan yang sangat signifikan selepas penghujung tahun 1980-an. Dua tempoh masa yang berbeza telah dipilih: i) tempoh masa rebakan bandar (1977-1986) dan tempoh masa regenerasi bandar (1987-1996). Tempoh rebakan bandar adalah di mana terdapat pertambahan tepubina bandar yang signifikan, manakala tempoh regenerasi bandar adalah tempoh masa yang digunakan oleh pihak kerajaan tempatan membangun serta memulihkan semula kawasan bekas peninggalan aktiviti perlombongan dan perindustrian berdasarkan prinsip pembangunan mapan (St Helens, 1998; Handley, 1998).

Secara kesimpulannya, kawasan kajian di Lembangan Sg Langat dipilih bagi mengkaji kesan pertambahan kawasan bandar dan litupan bandar terhadap kualiti air sungai, manakala kawasan kajian di Lembangan Sg Sankey dipilih bagi mengenalpasti kesan pembangunan semula bandar terhadap pembaikpulihan kesihatan ekosistem lembangan.

Metodologi kajian

Kajian ini memfokuskan kawasan tadahan sub-lembangan Sg. Langat, Selangor sebagai kawasan kajian untuk meneliti perubahan morfologi gunatanah bandar serta kawasan tepubinanya di antara tempoh masa 1981 hingga 1996. Maklumat gunatanah bandar dicerap berdasarkan kepada peta-peta gunatanah terbitan Kementerian Pertanian bagi tahun-tahun 1981, 1988, 1991 dan 1996.

Pemilihan tempoh masa berkenaan dilihat proses rebakan bandar adalah di tahap maksimum (Noorazan *et al.*, 2003). Maklumat litupan bandar diubah kepada maklumat tepubina bandar melalui persamaan di bawah:

$$Y = 0.4543X - 8.6227 \dots \dots \dots (1),$$

Di mana,

Y = anggaran tepubina bandar (ha)

X = litupan bandar (yang diperoleh dari peta-peta gunatanah) (ha)

Persamaan (1) telah diterbitkan berdasarkan pengiraan maklumat litupan tepubina bandar yang dicerap melalui peta udara yang beresolusi tinggi (Noorazuan, 2006). Nilai R^2 bagi persamaan (1) adalah sebanyak 0.90.

Sungai Langat yang melalui sub-lembangan berkenaan telah digunakan sebagai asas untuk memilih kawasan tadahan bagi zon sungai berkenaan. Pemilihan (clipping) kawasan berkenaan telah dilakukan dalam persekitaran GIS-Arcview. Klip berkenaan ditindan pada setiap peta GIS gunatanah bagi mendapatkan kawasan litupan bandar. Maklumat kualiti air diambil dari stesen kualiti air pihak JAS yang bermula dari tahun 1980 sehinggalah pada tahun 1996.

Bagi meneliti aspek implikasi regenerasi bandar terhadap kesihatan ekosistem di Lembangan Sankey, maklumat perubahan litupan bandar dan tepubina bandar dicerap berdasarkan pengelasan imej satelit Landsat TM dan ETM dan juga anggaran pengiraan berdasarkan peta gunatanah *Ordnance Survey* 1: 50,000 Landranger dari tahun 1974 sehinggalah 2001 melalui Persamaan (1) (Noorazuan 2006). Analisa maklumat spatial dilakukan di dalam sekitaran GIS Arcview dan ERDAS Imagine 8.6 manakala analisa statistik dilakukan melalui ujian *non-parametric* Kruskal-Wallis dalam sekitaran SPSS Versi 12.

Hasil kajian dan perbincangan

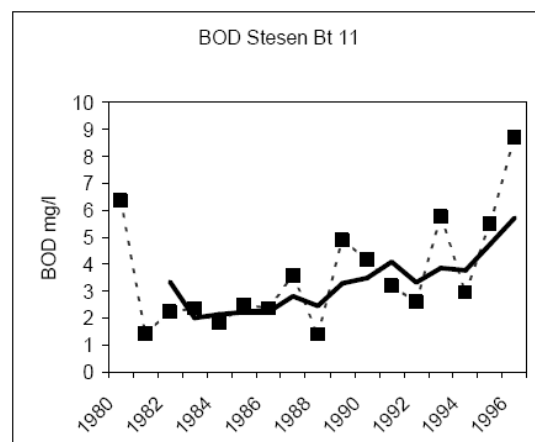
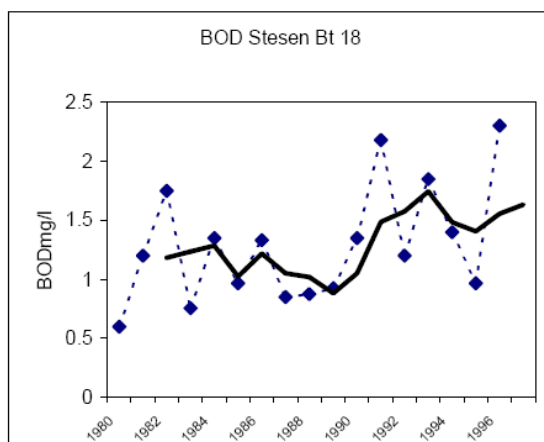
Analisis perubahan litupan bandar di sub-lembangan Langat menunjukkan peningkatan kawasan tepubina bandar bermula dari tahun 1980 (Jadual 2). Perubahan yang mendadak telah berlaku di dalam kawasan tadahan Stesen Bt 11 selepas tahun 1981 dengan penambahan lebih empat kali ganda pada tahun 1988. Perubahan litupan bandar di kawasan tadahan Stesen Bt 18 dianggap tidak signifikan dan terlalu kecil. Hasil analisis kualiti air menunjukkan kawasan tadahan Stesen Bt 11 mengalami perubahan drastik bermula pada penghujung tahun 1980-an (Rajah 4 hingga Rajah 7).

Hampir kesemua parameter kualiti air yang diukur di stesen kawalan (sub-lembangan Stesen Bt 18) adalah di dalam julat yang kurang dari nilai piawai kualiti air bagi Kelas III (JAS, 1997). Di kawasan tadahan Stesen Bt 11, parameter seperti pepejal terampai serta ammonikal nitrogen didapati telah melebihi piawai kualiti air Kelas III.

Peningkatan dalam penurunan kualiti air di kawasan berkenaan dilihat telah bermula pada penghujung 1980-an. Sekiranya diteliti kembali tren pertumbuhan kawasan tepubina di kawasan berkenaan (Jadual 2), didapati pada tahun 1988 telah menyaksikan peningkatan litupan tepubina yang drastik dari 0.48% hingga 2.10%.

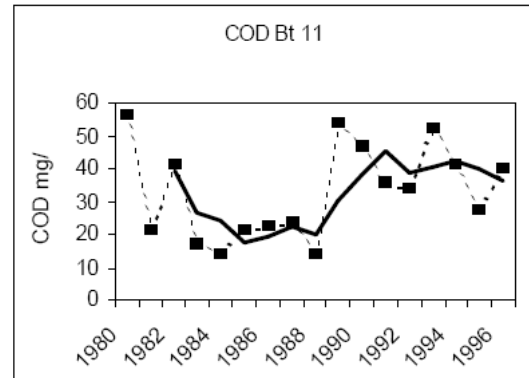
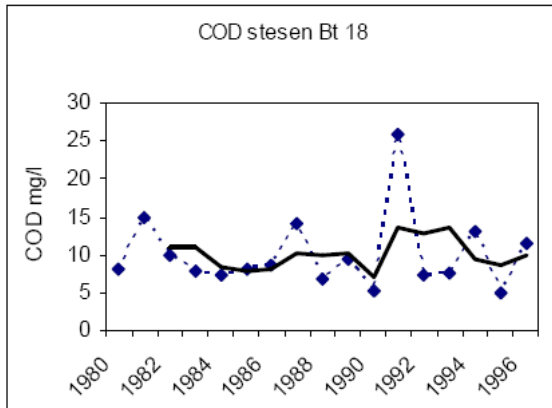
Jadual 2. Perubahan tepubina bandar 1981-1996 di dalam kedua-dua sub-lembangan Langat

Tahun	Tepubina bandar (ha) Kawasan tadahan Stesen Bt 11 [Nilai dalam kurungan merujuk peratus dalam kawasan tadahan]	Tepubina bandar (ha) Kawasan tadahan (kawalan) Stesen Bt 18 [Nilai dalam kurungan merujuk peratus dalam kawasan tadahan]
1981	150.79 (0.48%)	0.00 (0%)
1988	649.33 (2.10%)	6.50 (0.05%)
1991	608.99 (1.96%)	8.86 (0.07%)
1996	713.62 (2.30%)	4.00 (0.03%)

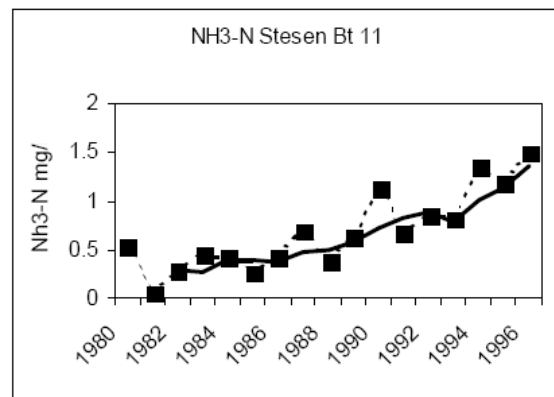
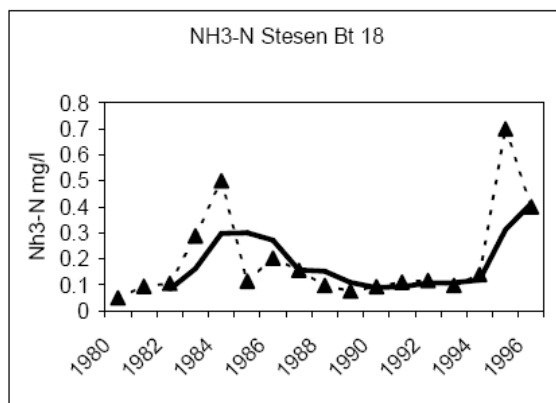


Nota: Garis hitam merujuk kepada nilai 3-tahun purata bergerak BOD

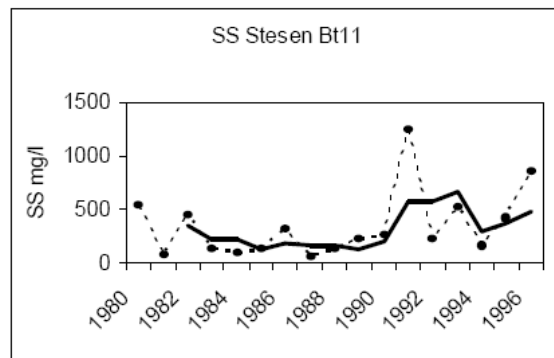
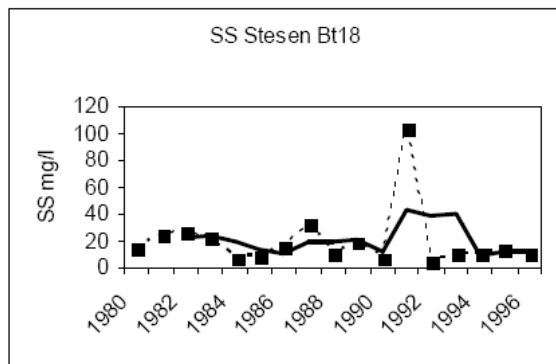
Rajah 4. Perubahan kepekatan BOD yang dicerap di kedua-dua sub-lembangan di antara 1980 hingga 1996



Nota: Garis hitam merujuk kepada nilai 3-tahun purata bergerak COD
Rajah 5. Perubahan kepekatan COD dalam kedua-dua sub-lembangan di antara 1980 hingga 1996



Nota: Garis hitam merujuk kepada nilai 3-tahun purata bergerak AN
Rajah 6. Perubahan kepekatan Ammonikal-Nitrogen (AN) dalam kedua-dua sub-lembangan diantara 1980 hingga 1996



Nota: Garis hitam merujuk kepada nilai 3-tahun purata bergerak SS
Rajah 7. Perubahan kepekatan pepejal terampai (SS) dalam kedua-dua sub-lembangan diantara 1980 hingga 1996

Penelitian yang dilakukan di sub-lembangan Langat Stesen Bt 11 telah membuktikan kesan peningkatan kawasan tepubina terhadap kualiti air sungai. Peningkatan kawasan bandar dan tepubina yang menjadi petunjuk kepada pertambahan aktiviti pembangunan fizikal bermula pada tahun 1988 telah dilihat menyumbang kepada peningkatan pepejal terampai (SS) dalam air sungai. Pertambahan penduduk akibat proses perbandaran dapat dikaitkan dengan pertambahan

bahan buangan domestik serta kumbahan yang mengakibatkan parameter seperti COD, BOD dan Ammonikal-Nitrogen mencatatkan tahap pencemaran yang serius.

Peningkatan projek-projek pembangunan bagi kawasan perumahan, industri dan perniagaan sudah tentu menjadi penyebab kepada penurunan kualiti air Sungai Langat. Perkembangan pesat dalam sektor perindustrian dan pambandaran telah menyebabkan permintaan dalam sektor perumahan turut meningkat. Akibatnya berlaku pembukaan tanah bagi memenuhi keperluan perumahan (Rajah 8). Pertambahan penduduk di lembangan ini telah menambah lagi buangan domestik dari tempat kediaman yang mana boleh membawa kepada kejatuhan mutu kualiti air Sungai Langat.



Sumber: DigitalGlobe 2005

Rajah 8. Kerakusan perubahan litupan hijau kepada tepubina sekitar koridor Sungai Langat berhampiran bandar Kajang pada tahun 2005 dari pandangan udara

Kes kajian kedua iaitu di St Helens pula sangat menarik untuk dibincangkan dalam konteks perubahan kesihatan ekosistem lembangan saliran. Bandaraya St Helens merupakan bandaraya terbesar di dalam Lembangan Sankey. Oleh kerana ianya adalah bandar perindustrian sejak revolusi industri, ia telah meninggalkan kesan negatif terhadap persekitaran fizikal lembangan, khususnya terhadap kualiti dan kuantiti air sungai.



Sebelum rejuvenasi bandar

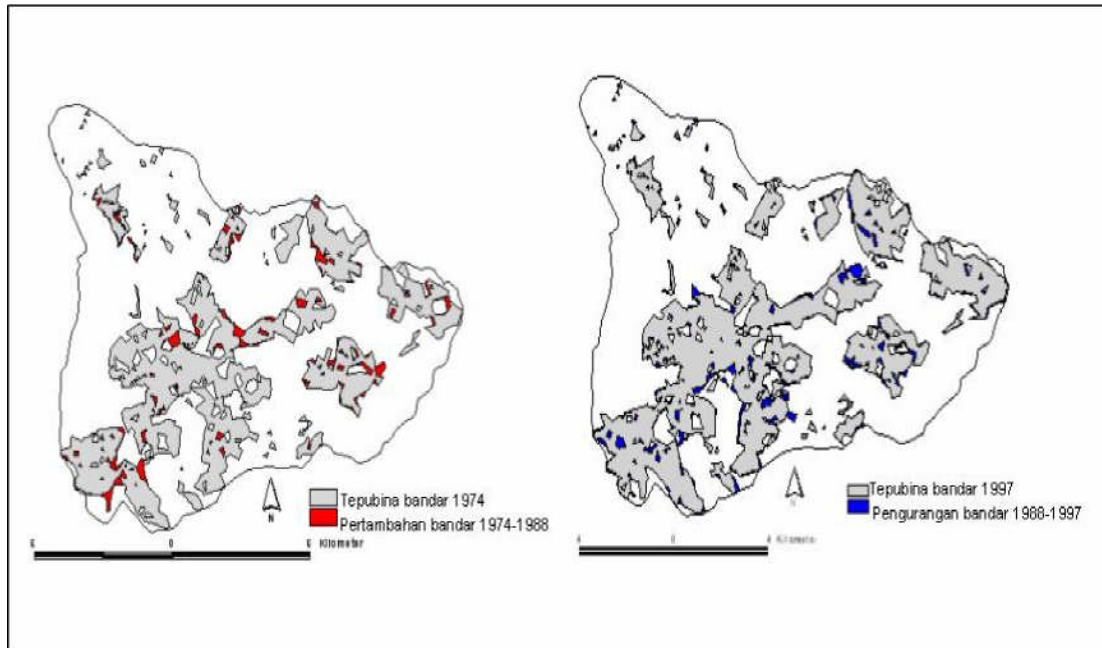
Selepas rejuvenasi bandar –pembinaan On-site retention pond

Sumber: Noorazuan 2006

Rajah 9. Hasil program 'wasteland to greenland' di mana bekas kawasan perlombongan dimajukan secara mapan

Pembangunan selepas pasca-perindustrian di Lembangan Sankey boleh dibahagikan kepada dua fasa; fasa pertama reban bandar atau ‘urban sprawl’ (1974-1988) dan fasa kedua fasa rejuvenasi bandar atau ‘urban renewal’ (1988-1997) di mana kawasan bandar hantu yang ditinggalkan sepi akibat kejatuhan industri gelas dan pembuatan kaca di England telah dibangunkan secara pendekatan pembangunan mapan (Ling, 2000; Ravenhead Renaissance, 2004).

Pada fasa rejuvenasi bandar, program *wasteland to greenland* telah diperkenalkan oleh pihak berkuasa tempatan (Rajah 9). Dalam fasa berkenaan, kawasan tepubina dan bekas perlombongan telah dimajukan secara mapan. Akibatnya, peratusan kawasan bandar telah berkurangan dan diganti dengan kawasan hijau (Rajah 10).



Rajah 10. *Pertambahan kawasan tepubina akibat reban bandar (1974-1988) dan pengurangan kawasan tepubina akibat fasa rejuvenasi bandar (1988-1997) dalam Lembangan Sankey (Noorazuan, 2006)*

Apa yang menarik ialah terdapat respon hidrologi yang sangat ketara di dalam kedua-dua fasa. Dari aspek, ciri luahan, perubahan frekuensi dan magnitud puncak luahan boleh dilihat dengan jelas, terutamanya nilai puncak yang melebihi $5.37 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Adalah diperhatikan pada fasa reban bandar (fasa pertambahan kawasan tepubina menjadi sangat signifikan), puncak luahan lebih kerap berlaku khususnya puncak luahan terendah (Jadual 3). Fasa rejuvenasi bandar didapati telah berjaya mengurangkan frekuensi puncak luahan malahan mengawal keadaan puncak luahan yang bermagnitud rendah.

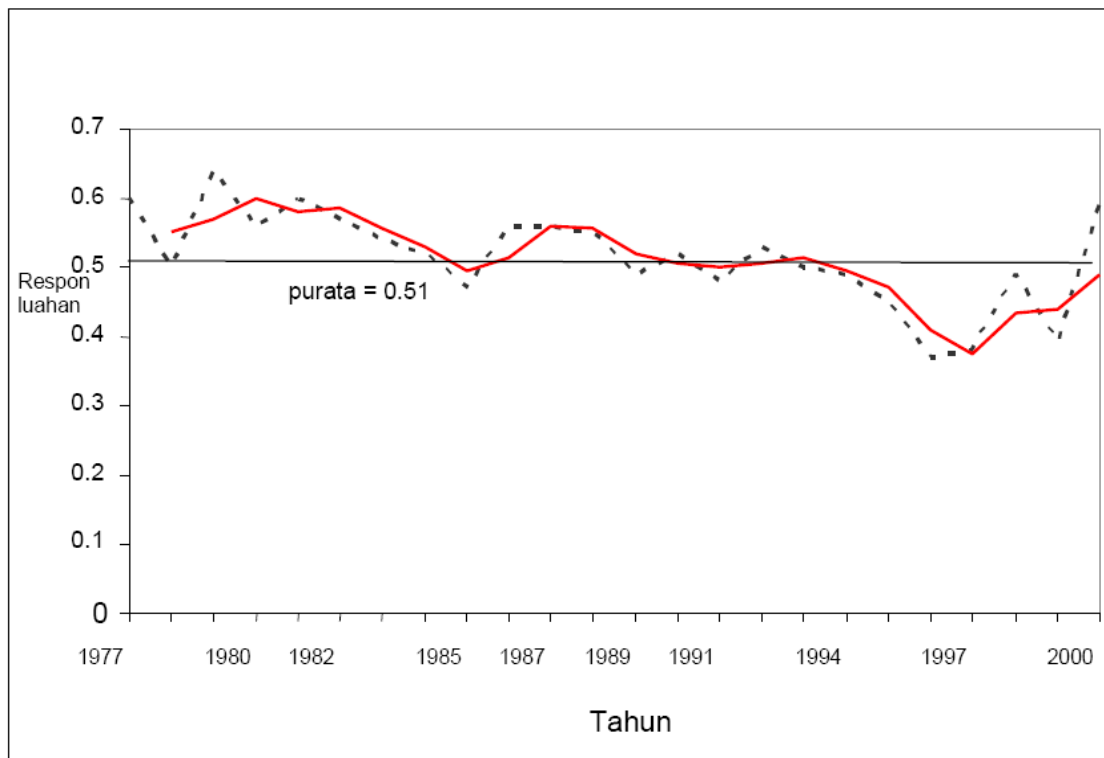
Jadual 3. *Perbezaan frekuensi dan magnitud puncak luahan dalam dua fasa utama*

Kumpulan Fasa	Bilangan hari puncak luahan melebihi nilai $0.84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	Bilangan hari puncak luahan melebihi nilai $2.62 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	Bilangan hari puncak luahan melebihi nilai $5.37 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	Bilangan hari puncak luahan melebihi nilai $8.54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
1977-1986	797	501	293	151
1987-1996	753	482	288	155

Sumber: Noorazuan (2006)

Hasil kajian telah memperlihatkan nilai respon luahan (streamflow response) yang lebih rendah dan terkawal semasa fasa pembaharuan bandar dalam tempoh 1987-1996 (rujuk Rajah

11). Nilai purata respon luahan adalah 0.51, bermaksud 51 peratus dari kerpasan diubah kepada luahan. Berdasarkan kepada kajian di atas, fasa rebakan bandar telah menyebabkan jumlah hujan ditukar kepada luahan sangat tinggi, sehinggakan pada tahun 1979, hampir 70 peratus jumlah hujan diubah kepada luahan. Keadaan ini semestinya akan membawa kepada bencana seperti banjir kilat di hilir lembangan. Bagaimanapun pada fasa rejuvenasi bandar, 'kawalan' sistem lembangan terhadap luahan semakin baik, sehinggakan nilai purata respons luahan adalah sekitar 0.49. Ujian Kruskal-Wallis untuk mengkaji perubahan variasi respon luahan menunjukkan terdapat perbezaan dalam kedua-dua fasa berkenaan (Kruskal-Wallis test statistic = 3.57, $dF = 1$, $p = 0.05$).



Garis merah merujuk kepada nilai 3-tahun purata bergerak

Rajah 11. Variasi tahunan respon luahan

Analisis terperinci terhadap perubahan hidrograf dalam jangkamasa berkenaan juga telah membuktikan keupayaan fasa rejuvenasi dalam mengawal ciri-ciri hidrograf dengan efisien (Jadual 4). Perbandaran boleh mengurangkan masa susulan hidrograf dan meningkatkan puncak hidrograf (Bedient & Huber, 1988). Kenyataan ini adalah benar semasa proses penambahan tepubina (fasa rebakan bandar) dan didapati, jumlah masa ke puncak dan masa susulan pada fasa tersebut lebih rendah secara relatifnya dengan fasa kedua.

Air larian permukaan juga adalah lebih banyak dijanakan oleh lembangan berkenaan semasa fasa rebakan bandar. Ini menunjukkan lebih besar peratusan hujan yang membentuk luahan semasa fasa berkenaan. Keadaan ini boleh dikaitkan dengan peranan tepubina bandar yang menghalang proses penyusupan dan penelusan dari berlaku. Kes di lembangan Sankey ini boleh dijadikan contoh sesuai iaitu bagaimana tepubina bandar mempengaruhi rejim hidrologi bandar dan bagaimana proses rejuvenasi bandar secara pembangunan mapan berjaya meningkatkan kesihatan ekosistem lembangan berkenaan ke tahap yang sangat memberangsangkan.

Jadual 4. Perubahan ciri-ciri hidrograf (purata bagi 20 peristiwa ribut yang dipilih)

Tempoh Masa	Masa ke Puncak (jam)	Masa dasar (jam)	Puncak hidrograf ($m^3 s^{-1}$)	Masa susulan (jam)	Hujan ekses (mm)	Air Larian permukaan ($m^3 s^{-1}$)	Air Larian permukaan per jumlah air larian
1977-86	5.6	20.2	8.3	4.2	1.4	58.1	0.36
1987-96	6.0	14.5	6.2	5.2	0.8	35.7	0.29

Sumber: Noorazuan (2006)

Pada tahun 1999, pihak pengurusan kempen pembersihan sungai berkenaan telah mendapat pengiktirafan antarabangsa di atas usaha meningkatkan kualiti ekosistem lembangan secara mapan (Greenwood, 1999; Tippett, 2001). Pada akhir 1990an, adalah didapati spesis ikan salmon telahpun membentuk habitat baru mereka di muara sungai berkenaan, iaitu setelah hampir 35 tahun kehilangan habitat berkenaan akibat pencemaran air yang serius (Tippett, 2001; Mersey Basin Campaign, 2004).

Kesimpulan

Tepubina bandar telah dirujuk sebagai satu petunjuk persekitaran yang sangat efektif bagi menggambarkan keadaan kesihatan ekosistem lembangan. Dari aspek hidrologi lembangan, keupayaan permukaan tepubina bandar yang menghalang proses penyusupan dan penelusan boleh mengakibatkan perubahan ke atasimbangan air sesebuah lembangan. Justeru, ia boleh menganggu proses interaksi antara biosfera-hidrosfera dalam ekosistem lembangan.

Penelitian ke atas kedua-dua kes mendapati pertambahan kawasan tepubina bandar dalam lembangan telahpun terbukti memudaratkan kualiti air Sungai Langat ke tahap sangat tercemar. Namun, penelitian kedua berdasarkan kepada pembangunan semula Bandaraya St Helens melalui pendekatan pembangunan secara mapan telah membentuk satu keadaan ekosistem yang lebih sihat dan sejahtera berbanding tempoh rebakan bandar di peringkat awalnya.

Justeru, adalah diharapkan pihak pengurusan persekitaran serta pembuat dasar boleh menggunakan maklumat tepubina bandar sebagai satu petunjuk persekitaran yang efektif dalam menentukan arah pembangunan sesebuah lembangan saliran di Malaysia. Sekurang-kurangnya piawai peratusan tepubina yang disarankan oleh model Schueler (1994) boleh juga dijadikan sandaran untuk merancang pembangunan bandar baru mahupun membina semula infrastruktur bandar khususnya sistem saliran bandar bagi mengelak dari masalah alam sekitar seperti pencemaran air dan banjir kilat.

Rujukan

- Arnell N, Reynard N (2000) Climate change and UK hydrology. In: Acreman M (ed) *The hydrology of the UK. A study of change*. Routledge, London.
- ASCE (1996) Hydrology handbook. 2nd Edition. ASCE manuals and reports on engineering practise No 28. New York.
- Barrett M, Malina J, Charbeneau R, Ward G (1995) Water quality and quantity impacts of highway construction and operation: summary and conclusions. Technical report CRWR 266. Nov 1995. Austin (unpublished report). Texas.
- Barker TC, Harris JR (1954) *A Merseyside Town in the industrial revolution St Helens 1750-1900*. University Press, Liverpool.
- Barnes K, Morgan J, Roberge M (2001) Impervious surfaces and the quality of natural and built environment. Paper presented in ASPRS 2001 Annual Convention, St Louis, MO, USA. April 23-27.

- Bedient P, Huber W (1988) *Hydrology and floodplain analysis*. Addison-Wesley Publ, Massachusetts.
- Bibby P, Shepherd J (1995) *Urbanisation in England. Projections 1991-2016*. Department of Environment. HMSO, London.
- Bosch JM, Hewlett JD (1982) A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55, 3-23.
- Brandt S (2000) Classification of geomorphological effects downstreams of dams. *Catena* 40, 375-401.
- Brun SE, Band LE (2000) Simulating runoff behaviour in an urbanizing watershed. *Computers, Environment and Urban Systems*. 24, 5-22.
- Chabaeva A, Civco D, Prisloe S (2004) Development of a population density land use based regression model to calculate the amount of imperviousness. *Proc. 2004 ASPRS Annual Convention*. Denver.
- Chow VT, Maidment DR, Mays LW (1988) *Applied hydrology*. McGraw Hill Book Company, Singapore.
- Congalton RG, (1999) A Review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37, 35-46.
- Cresser M, Pugh K (1996) Multiple land use and catchment management. *Proceedings of an international conference*. Land Management & Environmental Sciences Research Centre. Arbedeen.
- Crooks S, Davies H (2001) Assessment of land use change in the Thames Catchment and its effect on the flood regime of the river. *Phys. Chem. Earth (B)* 26 (7-8), 583-591.
- Environment Agency (2004) The peaks-over threshold for Sankey Brook catchment. Available from: <http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/hiflows>.
- EPA (1997) Urbanization and streams: studies of hydrologic impacts. Office of Water. Washington. Report No. 641-R-97-009.
- Feng G, Feng Y (2001) Heightening urban water supply capacity and reliability through reconstructing integrated regional water resources systems. *International Proceedings of Frontiers in urban water management: Deadlock or hope?* IHP-UNESCO CD-ROM Series No 2. Paris.
- Ferguson B (1998) *Introduction to stormwater. Concept, purpose and design*. John Wiley and Sons Inc, New York.
- Ferguson B, Suckling P (1990) Changing rainfall-runoff relationships in the urbanizing Peachtree Creek watershed, Atlanta, Georgia. *Water resources bulletin (AWRA)*.
- Fowler H, Kilsby C (2003) A regional frequency analysis of United Kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000. *International Journal of Climatology* 23, 1313-1334.
- Fischer S, Unwin (1996) *Spatial analytical perspectives on GIS / GIS data*. Taylor & Francis, London.
- Gould T, Hodgkiss A (1982) *The resources of Merseyside*. Liverpool University Press, Merseyside.
- Greenwood E (1999) *Ecology and landscape development: A history of the Mersey Basin*. Liverpool University Press, Merseyside.
- Gregory KJ, Walling, DE (1973) *Drainage basin form and process*. Arnold, London.
- Jabatan Alam Sekitar (1997) Laporan Tahunan Kualiti Alam Sekeliling. Jabatan Alam Sekitar, Kuala Lumpur.
- Kadaruddin A, Noorazuan MH (2005) Perubahan morfologi dan lanskap litupan bandar di zon pesisir sungai kornubasi Cheras-Kajang-Bangi 1974-2001: Implikasinya terhadap kesihatan ekosistem lembangan. *Prosiding Persidangan PPSPP-2*, pp. 1036-1046. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- Handley J (1998) Wasteland to woodland. 10 years of landscape change in St Helens. Wasteland to woodland steering group. Report issued May 1998. Groundworks Ltd. St Helens. Available from: [http://www.sthelens.gov.uk/website/publications.nsf/Lookup/WastelandtoWoodland/\\$file/WastelandtoWoodland.pdf](http://www.sthelens.gov.uk/website/publications.nsf/Lookup/WastelandtoWoodland/$file/WastelandtoWoodland.pdf)

- Hollis GE (1974) Urbanization and floods. *Institute of British Geographers Special Publications*. 6, 123-139.
- Hollis GE (1975) The effect of urbanization on floods of different recurrence interval. *Water resources research* 11, 431-435.
- Hollis GE, Luckett JK (1976) The response of natural river channels to urbanisation: Two case studies from Southeast England. *Journal of Hydrology* 30, 351-363.
- Ling C (2000) Rebuilding the post-industrial landscape: Interaction between landscape and biodiversity on derelict land. Paper presented at the International Conference on Multifunctional Landscapes, Roskilde, October 18-21.
- Low KS, Goh KC (1972) The water balance of five catchments in Selangor, Malaysia. *The journal of tropical geography* 32, 60-66.
- McCuen R (1998) *Hydrologic Design and Analysis*. Prentice Hall, New Jersey.
- Mersey Basin Campaign (2004) The Mersey Basin. Available from: <http://www.merseybasin.org>
- Myeong S, Nowak D, Hopkins P, Brock R (2001) Urban cover mapping using digital, high-spatial resolution aerial imagery. *Urban ecosystems* 5, 243-256.
- Nelson EJ, Jones NL (1996) Utilizing the ArcInfo data model to build conceptual models for environmental/hydraulic/hydrologic simulations. Paper presented in ESRI User's Conference, May 1996.
- NEMO (2000) Methods for deriving impervious cover information. Nonpoint education for Municipal Officials Project. NEMO Technical Paper No. 3. Haddam, Connecticut.
- Newson M (1994) *Hydrology and the river environment*. Clarendon Press, Oxford.
- Newson M (1996) Land, water and development: Key themes driving international policy on catchment management. In: Cresser M, Pugh K (eds) *Proceedings of an international conference: Multiple land use and catchment management*. Land Management & Environmental Sciences Research Centre, Arbedeen.
- Noorazuan MH (2006) Urban hydrological changes in the Sankey Brook catchment (PhD dissertation). University of Manchester, UK.
- Noorazuan MH, Ruslan Rainis, Hafizan Juahir (2003) GIS application in evaluating land use – land cover change and its impact on hydrological regime in Langat.
- Noorazuan Md Hashim, Siti Aisah Shamsudin (2006) Penghutanan dan pemuliharaan bandar: Kesannya terhadap ciri-ciri hidrologi sungai di Lembangan Sankey, UK. In: Rosnidar Mansor, Che Nidzam Che Ahmad, Sadiah Baharom, Ong Eng Tek, Shaherny Zaipp (eds) *Prosiding Persidangan Biologi Kebangsaan 2006*, pp. 83-88. Penerbit UPSI, Tanjung Malim.
- Ravenhead Renaissance (2004) What is ravenhead renaissance? Available from: <http://www.ravenheadrenaissance.co.uk/content/ravenintro.html>
- Ruslan H (2001) The holistic approach to storm water pollution management. Paper presented in the World Day for Water Seminar: Water and Health. Penang, Malaysia. 18 March.
- Ruslan R (2003) Application of GIS and landscape metrics in monitoring urban land use change. In: Noorazuan H, Ruslan R (eds) *Urban ecosystem studies in Malaysia: a study of change*. Universal Publisher, Florida.
- Schueler T (1994) The importance of imperviousness. *Watershed protection techniques* 1 (3), 100-111.
- Smith D (1981) *The Cambridge Encyclopedia of Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge.
- St Helens (1998) *Unitary development plan*. Issue report October 1998. St Helens Council, St Helens.
- Stone BJ, Michael OR (2001) Urban form and thermal efficiency: How the design of cities influences the urban heat island effect. *Journal of the American Planning Association* 67(2), 186-198.
- Tippett J (2001) Integrated catchment management and planning for sustainability - the case of the Mersey Basin campaign. Research summary, p.10. Faculty of Social Sciences and Law. University of Manchester, Manchester.
- Toebes C, Goh KS (1975) Notes on some hydrological effects of landuse change in Malaysia. *Water Resources Publications* No 4. Department of Drainage and Irrigation, Kuala Lumpur.

Zandbergen P (1998) Urban watershed ecological risk assessment using GIS: A case study of the Brunette River watershed in British Columbia, Canada. *Journal of Hazardous materials* 61, 163-173.