



## Morfometri lembangan sungai-sungai utama di Pulau Pinang

Noraini Misnan<sup>1</sup>, Main Rindam<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bahagian Geografi, Pusat Pengajian Pendidikan Jarak Jauh, Universiti Sains Malaysia, 11800, Pulau Pinang

Correspondence: Noraini binti Misnan (email: anne\_siska@yahoo.com.my)

### Abstrak

Morfometri saliran digunakan untuk menghuraikan ciri-ciri dan parameter geometri sesebuah lembangan sungai supaya ianya lebih objektif dan bermakna. Makalah ini bertujuan untuk mendapatkan informasi dan menganalisis ciri-ciri morfometri empat lembangan sungai utama di Pulau Pinang iaitu lembangan Teluk Bahang (A), lembangan Sungai Pinang (B), lembangan Sungai Relau (C) serta lembangan Sungai Air Putih (D). Maklumat tentang morfometri ini amat penting untuk digunakan sebagai asas rujukan yang berkesinambungan pada masa hadapan. Kajian ini dilakukan dengan menggunakan teknik analisis peta topography dan pemerhatian di lapangan. Kajian tertumpu kepada aspek morfometri tertentu khususnya pola-pola saliran, order sungai, serta kepadatan lembangan saliran. Hasil kajian menunjukkan kesemua kawasan lembangan kajian mempunyai kepadatan saliran yang kurang daripada 2 km per km persegi dengan lembangan Sungai Relau mencatat kepadatan tertinggi iaitu 1.89 km per km persegi. Kebanyakan sungai di kawasan kajian mempunyai pola saliran jenis reranting atau dendritik dan Sungai Pinang (B) mempunyai 5 order sungai, tertinggi di kawasan tersebut.

**Katakunci:** hidrologi, kepadatan saliran, lembangan sungai, pola saliran, morfometri sungai, order sungai

## Morphometry of major river basins in the island of Penang

### Abstract

Drainage morphometry is used to describe the characteristics and geometric parameters of a river basin. The use of such parameters will increase the levels of objectivity and meaningfulness of the study. The present article is aimed at obtaining information and analysing morphometric characteristics of four river basins in the island of Penang namely Teluk Bahang river basin (A), Sungai Pinang river basin (B), Sungai Relau river basin (C) and Sungai Putih river basin (D). Information on morphometry of the river basins can later be used as a basic for future references. A study on the four major river basins was carried out by employing topographic map and field observation techniques. The study focused on selected morphometrical aspects of the river basins namely drainage patterns, stream order and drainage density. Results of the study showed that all river basins have drainage density of less than 2km/km<sup>2</sup> respectively. The highest drainage density is 1.89 km/km<sup>2</sup> recorded at Sungai Relau river basin (C). Most of the rivers in the study area have a dendritic drainage pattern and Sungai Pinang river basin (B) has 5 stream orders which is the highest in the area.

**Keywords:** drainage density, drainage morphometry, drainage patterns, hydrology, river basins, stream order

## Pengenalan

Pengiraan morfometri lembangan saliran telah lama digunakan oleh Horton (1945), Strahler (1950), Schumm (1956), dan Shreve (1966) (Jamaludin Md. Jahi, 1988). Namun demikian, kesedaran mengenai kepentingan kajian morfometri ini kurang diberi perhatian oleh ahli geografi dan seumpamanya kerana kurang menghargai keistimewaan, kepentingan dan sumbangannya. Morfometri ialah pengukuran bentuk atau corak (Goudie, 2001; Pidwiny, 2006). Morfometri adalah salah satu daripada kaedah perhitungan yang penting dalam hidrologi dan geomorfologi sungai (Goudie, 2001). Kajian morfometri melibatkan penilaian lembangan saliran sungai melalui pengukuran pelbagai ciri yang ada dalam sesebuah saliran. Lembangan sungai pula terdiri daripada kawasan morfometri yang berlainan dan mempunyai perkaitan yang khusus kepada pola saliran dan geomorfologi (Doornkamp & Cuchlaine, 1971; Strahler, 1957).

Menurut Pidwirny (2006), kajian morfometri dalam bidang hidrologi pertama kali dimulakan oleh Horton dan Strahler pada 1940-an dan 1950-an. Tujuan utama kajian morfometri ini adalah untuk mencari ciri-ciri holistik sesebuah sungai daripada pengukuran pelbagai atribut sungai. Selain itu, kajian morfometri juga bertujuan untuk mengumpul seberapa banyak data yang mungkin mengenai rangkaian sungai dan lembangan saliran yang boleh diukur. Hal ini kerana kajian morfometri adalah ibarat asas kepada kajian hidrologi, geomorfologi, kajian guna tanah, sumber air dan sebagainya. Morfometri sungai juga boleh diaplikasikan dalam permodelan *Geographic Information System (GIS)* dengan memodelkan cara sesuatu cawangan sungai bersambung dengan cawangan sungai yang lebih besar bagi membentuk rangkaian saliran sungai. Ia boleh dimodelkan setelah lokasi sungai dan kawasan tadahan telah dikenal pasti. Ahli ekologi juga gemar memodelkan rangkaian saliran ini dengan GIS kerana ia menyediakan petunjuk tentang organisma biologi yang wujud di daratan dan di dalam sungai. Ahli geomorfologi juga menggunakan maklumat ini untuk memahami bagaimana saliran sungai berubah seiring dengan masa melalui proses hakisan dan pemendapan (DeMers, 2009; Sulong Mohamad *et. al.*, 2005).

## Kepentingan kajian morfometri sungai

Morfometri saliran boleh memberi impak kepada ciri dan bentuk muka bumi serta hidrologi sesebuah kawasan. Oleh itu maklumat tentang morfometri lembangan saliran perlu dikumpul dan didokumenkan supaya dapat dijadikan panduan bagi memantau keadaan muka bumi dan hidrologi kawasan tersebut. Kajian morfometri lembangan saliran di Pulau Pinang dapat mengenal pasti bukan sahaja keadaan kawasan tadahan, malah juga keadaan sungai pada masa lampau. Begitu juga keadaan cerun yang dapat dikesan berpandukan kepada sejarah pembentukan muka bumi atau relief yang telah dilalui oleh sungai-sungai tersebut. Keupayaan hakisan dasar juga dapat dianggarkan berdasarkan kepada sifat-sifat sedimen. Ketiga-tiga faktor keadaan muka bumi kawasan tadahan, keadaan cerun dan kadar hakisan menentukan ciri-ciri khusus pola saliran dan keadaan hidrolis sungai tersebut (Lokhtin, 1987). Bukti bahawa morfometri saliran memberi impak kepada ciri-ciri bentuk muka bumi ditunjukkan oleh Subramanyam (1981). Menurut beliau, faktor geologi asas, aktiviti eksogenik dan endogenik, morfometri saliran dan perubahan iklim pada zaman Kuaterner memberi pengaruh yang besar kepada asal-usul dan morfologi bentuk muka bumi sesebuah kawasan lembangan saliran.

Kajian morfometri pola saliran juga dapat mengenal pasti pengaruh jenis batuan dan tanah ke atas pola saliran. Misalnya batuan keras membentuk saliran berpola jejala dan begitu juga tanah jenis tertentu menggalakkan perkembangan saliran berpola anastomatik dan reranting. Seseengah bentuk muka bumi menggalakkan pembentukan saliran berpola jejari. Manakala proses geomorfologi sungai mempengaruhi pembentukan pola saliran anastomatik, sedangkan banjir pada masa lampau membentuk saliran berpola yazoo (Chan, 1998). Selain itu, maklumat iklim dan data sejarah juga dapat dikenal pasti hanya dengan mengecam jenis pola saliran di kawasan tersebut. Sebagai contoh, kewujudan pola saliran reranting terganggu lazimnya adalah disebabkan pembinaan tali air dan terusan oleh manusia untuk tujuan pertanian. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahawa kawasan tersebut agak kering dan sentiasa mengalami kemarau.

Order sungai adalah aspek yang perlu dikenal pasti dalam kajian morfometri sungai. Sistem dan order sungai di keseluruhan lembangan menyediakan maklumat yang berguna berkenaan ciri-ciri saluran dalam lembangan, termasuk taburan curahan hujan dan konsentrasi aliran permukaan, interaksi antara iklim dan geologi, dan keluasan kawasan yang diperlukan untuk mengekalkan unit ukuran panjang saluran (Rodrique-Itrube & Valdes, 1979). Selain itu, terdapat banyak maklumat yang boleh didapati daripada saluran order pertama. Maklumat tentang magnitud saluran berguna untuk meramal banjir. Banjir kilat biasanya berlaku di kawasan lembangan yang mempunyai nombor kekasaran (*ruggedness*) yang lebih besar dan ia menunjukkan kepadatan saluran yang lebih tinggi dengan cerun dan kecerunan saluran yang kurang curam (Patton & Baker, 1976). Oleh itu, banjir boleh berlaku di kawasan lembangan saluran yang mempunyai order tinggi khususnya di hilir sungai. Selain itu, intensiti aktiviti manusia seperti penanaman di kawasan tanah tinggi serta pembinaan petempatan biasanya memberi kesan kepada sungai di kawasan order pertama, terutamanya dari segi kualiti air. Sebagai contoh penanaman sayur-sayuran di kawasan hulu sungai di Cameron Highland telah menggalakkan proses hakisan dengan kadar yang tinggi (82 tan/hektar) dan penggunaan baja serta racun perosak yang berlebihan telah menyebabkan pencemaran air yang ketara di kawasan tersebut (Aminudin *et. al.*, 2001).

Maklumat tentang kepadatan saluran pula mempunyai pelbagai faedah kepada pengkaji hidrologi dan geomorfologi. Antaranya pengiraan numerikal penting kepada pengkajian mengenai landskap serta potensi air larian. Pada landskap yang mempunyai tanah boleh telap air yang tinggi, dengan potensi air larian yang kecil, kepadatan saluran biasanya kurang daripada 1 kilometer per kilometer persegi (Pidwirny, 2006). Kepadatan saluran juga boleh dikatakan sebagai parameter penting bagi sesebuah kawasan tadahan. Maklumat tentang kepadatan saluran boleh digunakan bagi memahami perkara seperti perkaitannya dengan legeh atau ciri-ciri fisiografik seperti nisbah relief, jenis batuan serta dan bentuk lembangan; perkaitannya dengan input dan output sistem lembangan saluran; dan kegunaannya untuk mengkaji perkaitan antara kajian lepas dan masa hadapan. Sebagai contoh terdapat perkaitan antara kejadian banjir lampau dengan kepadatan saluran (Gregory & Walling, 1968). Menurut Patton & Baker (1976), parameter morfometri seperti kepadatan saluran, magnitud saluran, dan nisbah relief menjadi penanda aras kepada langkah-langkah praktikal untuk menguji potensi kejadian banjir di lembangan saluran yang kecil (<100mi<sup>2</sup>). Banjir diketahui boleh membawa kepada bencana yang lebih dahsyat kepada flora dan fauna malah bencana yang lebih ketara kepada manusia terutamanya yang tinggal berhampiran dengan kawasan sungai. Menurut Jowett dan Richardson (1989), juga Scrimgeour dan Winterbourn (1989), banjir memberi kesan terhadap habitat dan hidupan sungai. Keadaan habitat tergubah semasa banjir akibat kelajuan air yang tinggi. Manakala hidupan sungai berubah semasa banjir kerana banyak spesies musnah. Parameter morfometri seperti kepadatan saluran dan ciri-ciri cerun menyediakan maklumat asas tentang aliran permukaan dan potesi simpanan air tanah dalam sesebuah kawasan tadahan (Karanth, 2008). Hal ini memberikan akses kepada para pengkaji hidrologi air tanah kepada maklumat tentang status simpanan air tanah di sekitar lembangan sungai. Penerokaan dan pembangunan hartanah bagi tujuan petempatan terutamanya di kawasan tanah tinggi pula akan menimbulkan risiko bagi kejadian tanah runtuh. Kejadian tanah runtuh ini berpunca daripada kepesatan aliran air bawah tanah di kawasan tersebut. Terdapat juga kajian yang mengaitkan kepadatan saluran dengan perubahan iklim. Misalnya Moglen *et. al.* (1998) mendapati bahawa kepadatan saluran mencerminkan pengaruh elemen iklim terhadap topografi dan menentukan had keupayaan hidrologi di permukaan. Ini bermakna, kepadatan saluran mempunyai perkaitan yang rapat dengan sensitiviti bekalan sumber air pada masa hadapan.

Kajian morfometri juga boleh juga dijadikan sebagai sumber maklumat penting mengenai ciri-ciri sesuatu lembangan sungai. Maklumat ini sangat berguna kepada jurutera hartanah, jurutera awam, jurutera sumber asli dan sebagainya. Hal ini amat penting terutamanya bagi menguruskan pembangunan sungai di kawasan bandar. Terdapat beberapa kriteria yang perlu di ambil kira sekiranya mahu mengendalikan sebuah projek yang berkaitan dengan sungai dan kawasan sekitarnya. Hal ini termasuklah mengambil kira kesan projek terhadap kemusnahan alam sekitar dan penduduk setempat. Sebagai contoh, proses-proses morfologi yang berlaku kepada sungai seperti hakisan, pemendapan dan halaju aliran air sungai serta kepadatan saluran perlu dititikberatkan sebelum sebarang projek ke atas sungai bandar

dilakukan. Kepentingan maklumat tentang morfometri kepadatan saliran menjadi lebih kritikal untuk tujuan meramal banjir. Daripada data tersebut luahan sungai untuk setiap kali hujan mahupun kekerapan hujan pada musim basah dapat dianalisis untuk meramal bencana banjir kilat di kawasan bandar (Sulong Mohamad *et.al.*, 2005).

Kajian ke atas morfometri sungai juga memberi banyak maklumat dan data yang berkaitan antara satu sama lain kepada pengguna Penderiaan Jauh (*Remote Sensing*), Sistem Analisis Ruangan (*Spatial Analysis System- SPAN ver. 7.0*) dan juga Sistem Maklumat Geografi (*Geographic Information System*). Integrasi data daripada Penderiaan Jauh dan GIS ini menyediakan cara yang cekap dalam menganalisis parameter morfometri dan ciri-ciri bentuk muka bumi untuk penilaian, analisis dan pengurusan sumber. Sebagai contoh kajian yang dilakukan di sub lembangan saliran morfometri Sungai Vena, India. Analisis morfometri dijalankan untuk menentukan pengaruh morfometri saliran ke atas bentuk muka bumi, kedalaman tanah, keadaan saliran, kapasiti ketersediaan air yang ada (RWC) dan ciri-ciri hakisan tanah (Gangalakunta *et.al.*, 2004). Analisis menunjukkan bahawa pengaruh morfometri saliran adalah sangat penting dalam memahami proses bentuk muka bumi, sifat fizikal tanah dan ciri-ciri hakisan. Kajian morfometri ini berperanan sebagai pemudah cara kepada pendekatan kaedah data Penderiaan Jauh dan GIS. Hal ini kerana kombinasi antara data morfometri dan aplikasi Penderiaan Jauh dan GIS didapati lebih sesuai dan tepat berbanding kaedah konvensional dalam penilaian dan analisis saliran morfometri, bentuk muka bumi, sumber tanah dan memahami hubungan antara satu sama lain bagi perancangan dan pengurusan lembangan sungai masa kini.

### Objektif, metodologi dan kawasan kajian

Pulau Pinang mempunyai lembangan saliran yang agak banyak. Oleh itu lembangan tersebut sepatutnya mampu menampung keperluan air pada masa hadapan penduduk negeri itu. Namun persepsi itu berubah apabila pulau ini menjadi tumpuan pembangunan sektor industri dari setahun ke setahun terutamanya selepas diiktiraf sebagai *Penang Cybercity* oleh Koridor Raya Multimedia Malaysia (MSC Malaysia). Pembangunan pesat yang berlaku di Pulau Pinang kini memberi impak negatif kepada sungai-sungai di Pulau Pinang. Banyak kawasan bandar berkembang serta bukit- bukau ditarah untuk dijadikan kawasan pertanian, petempatan, pusat pentadbiran, perindustrian, pelancongan dan sebagainya. Oleh sebab kekurangan tanah pamah di Pulau Pinang, maka para pemaju telah membangunkan tanah berbukit. Ini boleh menjejaskan keadaan kawasan tadahan hujan. Walaupun terdapat banyak kawasan tadahan di Pulau Pinang (Jadual 1), namun permintaan air yang tinggi memaksa negeri ini untuk mendapatkan bekalan air dari Empangan Mengkuang di Seberang Perai Tengah dan lembangan Sungai Muda di Kedah-Perak. Sekiranya kawasan tadahan dapat dipulihara, Pulau Pinang sepatutnya boleh mengurangkan pergantungan kepada bekalan dari tanah besar. Pemuliharaan memerlukan maklumat yang lengkap khususnya tentang morfometri saliran. Kajian ini membantu untuk menyediakan sebahagian daripada maklumat tersebut.

**Jadual 1. Kawasan tadahan yang terdapat di Pulau Pinang**

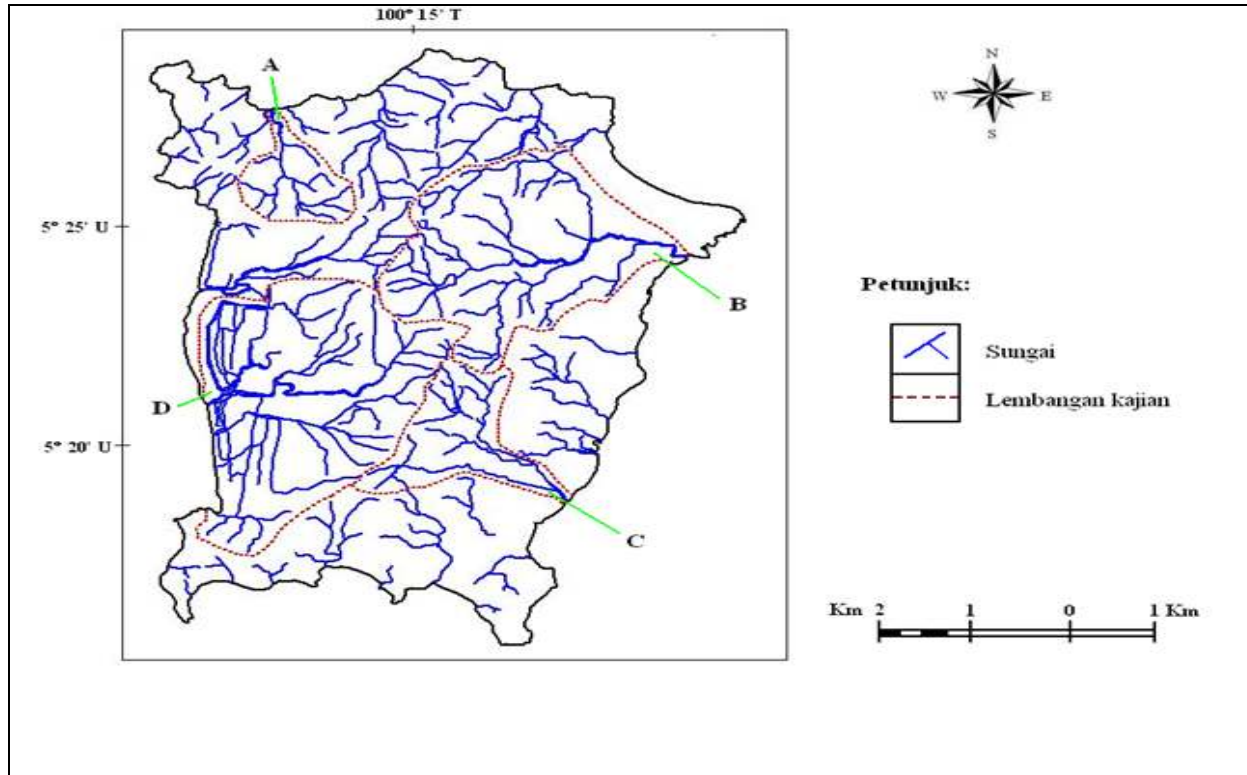
Kawasan	Luas (ekar)	Keupayaan (juta gelen)
1. Air Hitam	2,294	10.0
2. Guillemard	1,609	10.0
3. Sungai Pinang	1,676	7.5
4. Air Terjun	1,285	4.0
5. Teluk Bahang	3,073	3.6
6. Batu Feringgi	2,668	0.3
Jumlah	12,605	29.4

Sumber: Pihak Berkuasa Air Pulau Pinang, 1996

Pada masa ini sebahagian daripada kawasan tadahan air di Pulau Pinang telah musnah akibat daripada pembangunan atas kontur (Chan, 2002; Chan, 2000). Tambahan pula, pertambahan penduduk saban

tahun telah merumitkan lagi situasi ini. Hal ini terjadi terutamanya apabila statistik menunjukkan bahawa Pulau Pinang merupakan negeri yang mempunyai kepadatan penduduk yang tinggi iaitu sebanyak 1,416,909 orang (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2010). Maka tidak hairanlah jika penggunaan air di Pulau Pinang amat tinggi iaitu sebanyak 285 liter/kapita/hari (Berita Harian, 5 Februari 2010). Aktiviti manusia juga boleh mendatangkan impak kepada kawasan tadahan (Ortech, 1992). Pencemaran sungai juga antara masalah utama yang membelenggu negeri Pulau Pinang yang berpunca daripada pelbagai aspek termasuk sisa-sisa industri serta sampah sarap. Sebagai contoh, Laporan Kualiti Alam Sekitar 2004 menyatakan bahawa Sungai Pinang yang berada di hulu lembangan Sungai Pinang mengalami kadar pencemaran kekal dan dan paling kotor sepanjang tahun di Malaysia. Walaupun sudah sekian banyak usaha program pemuliharaan dilakukan, namun sehingga kini air sungai tersebut tidak langsung sesuai untuk tujuan minuman (Haliza Abdul Rahman, 2007). Memandangkan lembangan sungai tersebut merupakan kawasan tadahan negeri Pulau Pinang, satu pendekatan holistik perlu diterapkan, antaranya memahami konsep morfometri sungai. Hal ini kerana setiap ciri morfometri sebuah lembangan saluran mempunyai maklumat yang boleh dimanfaatkan untuk tujuan melestarikan pembangunan oleh pelbagai pihak seperti para perancang bandar, pemaju harta tanah dan orang awam.

Kajian morfometri sungai ini dijalankan bagi merekod dan menganalisis maklumat fizikal lembangan sungai terpilih di Pulau Pinang. Ciri morfometri sungai yang diperiksa adalah pola-pola saluran, order sungai, serta kepadatan lembangan saluran. Maklumat ini penting kerana ia menjadi asas kepada kajian hidrologi dan geomorfologi. Kajian ini menggunakan teknik penentuan order sungai untuk menganalisis morfometri lembangan sungai mengikut kaedah Strahler (1978). Analisis morfometri ini dilakukan dengan menggunakan peta topografi dan kerja lapangan. Kemahiran kartografi diaplikasikan bagi menentukan pola saluran dan kepadatan saluran. Kepadatan saluran dikira daripada peta topografi kawasan berkenaan. Kepanjangan saluran sungai diukur dengan *opisometer* dan *chartometer*, manakala *planimeter* digunakan untuk menentukan kawasan tadahan (Karanth, 2008). Kajian morfometri dilakukan di lembangan sungai yang dipilih iaitu lembangan A (lembangan Teluk Bahang), lembangan B (lembangan Sungai Pinang), lembangan C (lembangan Sungai Relau) dan lembangan D (lembangan Sungai Air Putih) (Rajah 1). Lokasi kajian di lembangan A, B, C dan D dipilih berikutan peranan lembangan sungai ini sebagai kawasan tadahan yang besar serta menjadi salah satu sumber air bagi penduduk Pulau Pinang.



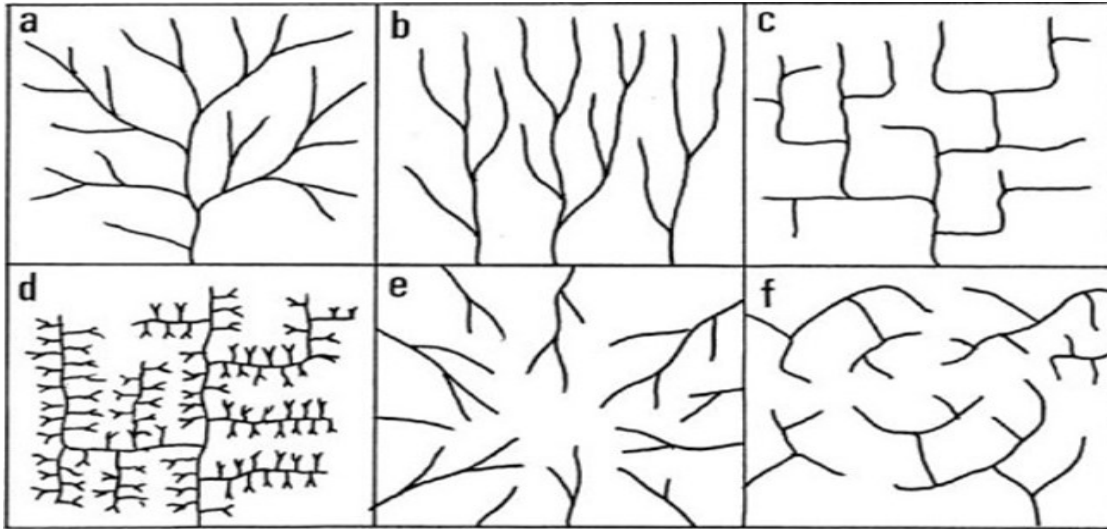
Rajah 1. Kawasan lembangan kajian di Pulau Pinang

## Hasil kajian dan perbincangan

### *Pola saliran*

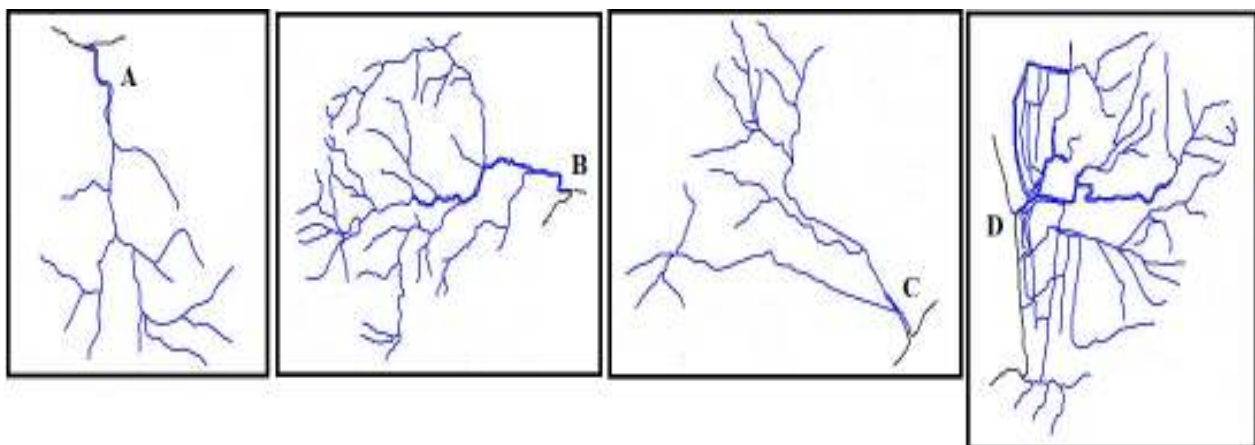
Pola saliran dapat menyampaikan pelbagai maklumat morfologi di dalam sesebuah lembangan saliran (Pidwiny, 2006). Howard (1967) menyatakan bahawa pola saliran mempunyai kaitan dengan maklumat geologikal. Secara teorinya pola saliran dapat dikelaskan kepada enam corak iaitu reranting/dendritik, selari/sejajar, bersegi, jejala, bertumpu, dan jejari/sepunca (Rajah 2). Pola saliran reranting adalah yang paling lazim dijumpai di Malaysia.

Pola saliran reranting terdiri daripada cabang-cabang sungai yang tidak tersusun dan kelihatan bertemu dengan sungai utama di mana-mana sahaja. Pola ini terbentuk seakan-akan ranting pokok dan biasanya ditemui di dalam lembangan saliran yang mempunyai kaitan dengan kawasan litologi yang seragam, mendatar dan strata yang condong di relief yang rendah (Matsuda, 2004). Pola ini tedapat di atas jenis batu-batan keras atau di atas tanah lumpur atau lanar. Semakin lama masa bagi pembentukan lembangan saliran, semakin mudah pola reranting ini terbentuk (Howard, 1967). Kerapatan pola bergantung kepada ketelapan batuan di bawahnya dan lebatnya hujan (Jamaludin Md Jahi, 1988). Pola saliran reranting biasanya didapati di kawasan berhampiran laut, terutamanya di kawasan pulau seperti Pulau Pinang.



**Rajah 2.** Pola saliran menurut Howard (1967): reranting, selari, bersegi, jejala, bertumpu dan jejari/sepunca

Berdasarkan pemerhatian dan penelitian kebanyakan lembangan salinan di Pulau Pinang cenderung untuk mempunyai pola reranting/dendritik. (rujuk Rajah 3). Paling ketara dapat diperhatikan di lembangan Teluk Bahang (A), Sungai Pinang (B), dan Sungai Relau (C). Lembangan ini masih kekal dalam polanya yang asal. Manakala lembangan Sungai Air Putih (D) yang terletak di Balik Pulau ini yang pada asalnya berpola reranting kini telah berubah kepada pola reranting yang terganggu akibat pembinaan tali air suatu ketika dahulu untuk tujuan penanaman padi sawah. Pada masa lalu kawasan Balik Pulau adalah kawasan pertanian padi sawah yang produktif. Tali air dibina dan anak sungai diluruskan atau dilebarkan untuk membekalkan air ke sawah. Sistem pengairan yang dibina itu dapat membantu meningkatkan produktiviti sawah. Dalam hal ini tindakan manusia didapati telah menyebabkan berlakunya perubahan terhadap pola saliran di kawasan tersebut.



**Rajah 3.** Bentuk pola saliran bagi kawasan kajian Lembangan A, B, C dan D

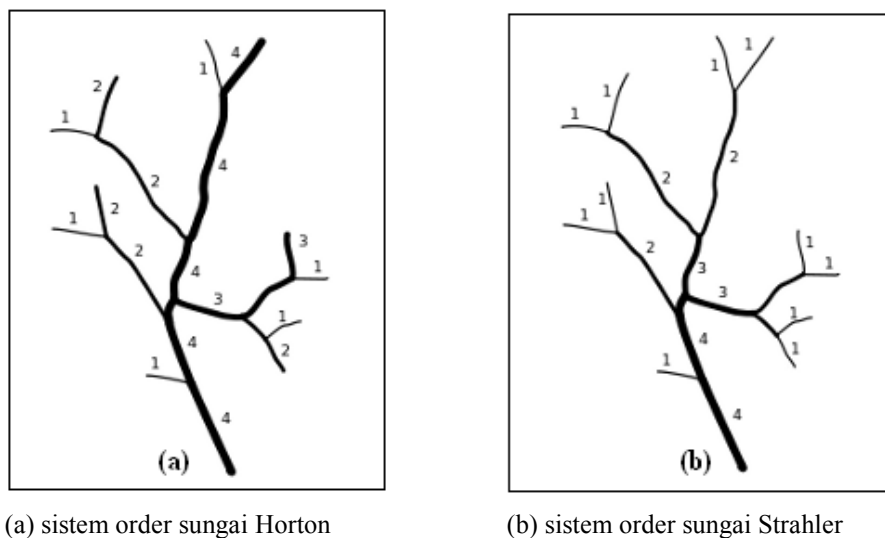
#### *Order lembangan sungai*

Kaedah Horton (1945) dan Strahler (1950) telah digunakan dengan meluas bagi menentukan order suatu lembangan saliran. Tokoh-tokoh lain yang pernah membincangkan mengenai penentuan order sungai ini termasuklah Schumm (1956), Hack (1957) dan Shreve (1966) (Jamaludin Md Jahi, 1988; Matsuda,

2004). Dalam sistem ini segmen saluran sungai disusun mengikut angka bermula daripada hulu sungai order rendah (misalnya 1) ke hilir sungai order tinggi (misalnya 5). Sistem order sungai dipengaruhi oleh saiz lembangan dan aliran sungai. Makin besar saiz lembangan semakin banyak bilangan order sungai. Segmen yang paling kecil (bahagian hulu) yang kedudukannya semakin jauh dari outlet lembangan biasanya diklaskan sebagai order pertama (1). Manakala segmen di bahagian hilir lembangan menduduki sistem order yang paling tinggi.

Berdasarkan klasifikasi Strahler (1978), order sungai pertama ialah sungai tunggal yang tiada lagi cawangan. Menurut Horton (1945) pula, sungai utama biasanya akan mempunyai order tertinggi bermula daripada muara sungai sehingga ke hulu sungai dan biasanya anak sungai mempunyai order terkecil iaitu order pertama berbanding dengan sungai utama (Matsuda, 2004). Oleh itu, order pertama adalah semua sungai tunggal yang merupakan punca tadahan air yang biasanya terletak di kawasan puncak bukit di mana sungai mula mengalir (Chan, 1998). Sungai order kedua pula dibentuk apabila dua batang sungai order pertama bertemu. Jika sebatang sungai order pertama bercantum dengan sebatang sungai order kedua, hasil cantuman itu masih merupakan order kedua. Hanya apabila dua batang sungai order kedua bertemu, barulah sebatang sungai order ketiga terbentuk (Chan, 1998). Namun sistem penentuan order yang dikemukakan oleh Horton (1945) dikatakan rumit, maka Strahler (1950) telah mengemukakan pembaikan dan pengubahsuaian dalam menentukan order sungai (rujuk Rajah 4). Sekiranya diteliti didapati bahawa sungai order tinggi tidak sampai ke sempadan legeh atau order tertinggi diberikan kepada satu segmen sahaja. Penentuan order yang dikemukakan oleh Strahler (1950) lebih mudah dan yang demikian diaplikasikan dalam kajian ini.

Berdasarkan dapatan kajian (rujuk Jadual 2), Sungai Pinang mempunyai bilangan order sungai terbanyak iaitu 5. Ini menunjukkan lembangan Sungai Pinang ini sangat besar dan mampu membekalkan sumber air kepada penduduk Pulau Pinang jika lembangan Sungai Pinang ini dikawalselia aspek kualiti air dengan baik bermula daripada hulu sehingga hilir sungai. Selain itu, sebarang gangguan aktiviti fizikal manusia di kawasan lembangan ini juga perlu dipantau oleh pihak berwajib bagi memelihara kelangsungan sumber air Pulau Pinang.



**Rajah 4.** Sistem order Strahler (b) yang diubahsuaikan daripada sistem order Horton (a)



**Jadual 2. Sistem order bagi lembangan kawasan kajian**

Kawasan lembangan	Order				
	1	2	3	4	5
Teluk Bahang (A)	11	5	3	-	-
Sungai Pinang (B)	38	24	4	5	2
Sungai Relau (C)	15	10	3	-	-
Sungai Air Putih (D)	28	18	7	-	-

*Kepadatan saliran*

Kepadatan saliran pertama kali telah digunakan oleh Horton (1945) dan telah diaplikasikan dengan meluas bagi kajian hidrologi masa kini. Faktor-faktor yang dikenal pasti mempengaruhi variasi kepadatan saliran termasuk iklim, bentuk muka bumi, kapasiti keporosan tanah, vegetasi dan geologi (Thorpe & Thorpe, 2009). Kepadatan saliran sungai di dalam sesuatu lembangan dapat ditentukan menggunakan rumus jumlah panjang sungai dibahagikan dengan keluasan lembangan tersebut (Jamaludin Md Jahi, 1988). Iaitu:

$$\text{Kepadatan saliran, } D_d = \frac{\text{Jumlah panjang sungai (km), } L_k}{\text{Luas lembangan (km}^2\text{), } A_k}$$

Kepadatan saliran adalah dalam unit km bagi satu km persegi. Kepadatan saliran boleh dibahagikan kepada rendah, sederhana dan tinggi. Horton (1945) mengatakan bahawa kawasan tadahan yang mempunyai kepadatan saliran yang rendah atau kecil adalah hasil daripada dominasi proses air larian iaitu infiltrasi dan aliran sub-permukaan. Manakala, kawasan tadahan yang mempunyai kepadatan saliran yang tinggi adalah hasil daripada hakisan dan daiseksi oleh aliran permukaan (Patton, 1988). Kawasan tadahan yang mempunyai kepadatan saliran yang tinggi menunjukkan bahawa banyak aliran permukaan berlaku berbanding proses susupan (Karanth, 2008). Hujah Patton (1998) juga disokong oleh Thorpe & Thorpe (2009) iaitu pengiraan kepadatan saliran dapat menyediakan maklumat penting kepada para ahli hidrologi dan geomorfologi, terutamanya mengenai daiseksi landskap dan potensi aliran permukaan.

**Jadual 3. Kepadatan saliran kawasan lembangan kajian di Pulau Pinang**

Kawasan lembangan	Panjang sungai (km)	Keluasan lembangan (km <sup>2</sup> )	Kepadatan saliran (km/km <sup>2</sup> )
A (Teluk Bahang)	18.40	11.75	1.57
B (Sungai Pinang)	71.90	52.00	1.38
C (Sungai Relau)	32.10	17.00	1.89
D (Sungai Air Putih)	117.25	63.00	1.86

Analisis lanjut mendapati bahawa setiap kawasan lembangan yang dikaji mempunyai kepadatan saliran rendah iaitu dalam lingkungan 2 hingga 3 km/km<sup>2</sup> dalam satu kilometer persegi. Kawasan yang mempunyai kepadatan saliran yang rendah lazimnya mempunyai tekstur yang kasar disebabkan oleh setiap unsur topografinya adalah besar atau kasar (Jamaludin Md Jahi, 1988). Ini bermakna, kesemua lembangan saliran kajian mengalami proses air larian iaitu infiltrasi dan aliran sub-permukaan. Proses susupan atau infiltrasi berlaku dengan dominan di setiap lembangan ini. Maka, dapat disimpulkan bahawa lembangan-lembangan sungai ini mempunyai kadar kapasiti simpanan air bawah tanah yang banyak.

**Kesimpulan**

Ciri-ciri fizikal sungai dan cara-cara bagaimana sifat sungai ini berubah sebenarnya amat penting untuk menentukan kepelbagaian biologi - flora dan fauna di sekitar sungai itu. Kajian mengenai morfometri

lembangan saliran di Pulau Pinang boleh membantu mengekalkan keadaan semulajadi habitat flora dan fauna tersebut. Pada masa yang ia juga penting untuk melestarikan peranan lembangan saliran sebagai kawasan tadahan hujan yang penting kepada bekalan air negeri ini. Di samping itu maklumat tentang morfometri saliran juga penting diketahui sebelum sebarang aktiviti pembangunan dilakukan di dalamnya. Ini kerana perubahan fizikal yang dilakukan ke atas landskap lembangan sungai tersebut akan mempengaruhi kapasiti sungai sebagai pembekal kepada pelbagai keperluan manusia. Kajian morfometri juga dapat mengenal pasti ciri-ciri hidrologi atau geomorfologi yang berlaku pada masa lampau serta dapat menjangkakan proses-proses fizikal lembangan sungai pada masa hadapan terutamanya akibat perubahan iklim global. Dalam konteks Pulau Pinang, hasil kajian morfometri ini boleh dijadikan panduan bagi tujuan pengurusan kelangsungan bekalan air di pulau ini.

## Penghargaan

Penulis mengucapkan jutaan terima kasih kepada Universiti Sains Malaysia di atas pembiayaan geran penyelidikan universiti (RU) 10001/PJJAUH/811113.

## Rujukan

- Aminuddin BY, Wan Abdullah WY, Cheah UB, Ghulam MH, Zulkefli M & Salama RB (2001) Kesan pertanian intensif di kawasan tanah tinggi terhadap ekosistem. *Journal Tropical Agriculture and Federal Science* **1**, 69-76.
- Berita Harian, 5 Februari 2010. Usah membazir sumber air terawat.
- Chan NW (1998) *Peta, kartografi dan ahli geografi*. Penerbit Universiti Sains Malaysia.
- Chan NW (2000) Saving water for the future. Kertas Kerja Persidangan Kebangsaan "World Day For Water Seminar 2000". Cititel, Pulau Pinang. 20-21 Mac.
- Chan NW (2002) *Pembangunan, pemandaran dan peningkatan bahaya dan bencana air di Malaysia: Isu, pengurusan dan cabaran*. Penerbitan Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang.
- DeMers MN (2009) *GIS for dummies*. Wiley Publishing, Indiana.
- Doornkamp JC, Cuchlaine AMK (1971) *Numerical analysis in geomorphology – An introduction*. Edward Arnold, London.
- Gangalakunta P, Obi R, Amal KM, Kothiram SG (2004) Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India—a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **6**, 1–16.
- Goudie A (2001) *The nature of the environment*. Blackwell Publisher Ltd., Oxford.
- Gregory KJ, Walling DE (1968) The variation of drainage density within a catchment. *Hydrological Science Journal* **13** (2), 61-68.
- Haliza Abdul Rahman (2007) *Suatu tinjauan terhadap isu pencemaran sungai di Malaysia*. Persidangan Geografi 2007, 8-9 September 2007. Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjung Malim, Perak.
- Horton RE (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin* **56**, 275- 370.
- Howard AD (1967) Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. *Bulletin of American Association of Petroleum Geology* **51**, 2246- 2259.
- Jabatan Perangkaan Malaysia, 2010.
- Jamaludin Md Jahi (1988) *Pengantar geografi fizikal*. Tropical Press, Kuala Lumpur.
- Jowett IG, Richardson J (1989) Effects of a severe flood on instream habitat and trout populations in seven New Zealand rivers. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **23**, 11-17.
- Karant KR (2008) *Groundwater assessment, development and management*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Lokhtin VM (1897) *About a mechanism of river channel*. Sankt, Petersburg.

- Matsuda I (2004) River morphology and channel process. In: Dooge JCI (eds) *Fresh surface water*. In: *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Developed under the Auspices of the UNESCO. Eolss Publishers, Oxford.
- Moglen GE, Elfatih AE, Bras RL (1998) On the sensitivity of drainage density to climate change. *Water Resources Research* **34**, 855- 862.
- Ortech KB (1992) River morphology, sediments and fish habitats. *IAHS Publications* **210**, 309-315.
- Patton PC, Baker VR (1976) Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. *Water Resources Research* **12** (5), 941-952.
- Patton PC (1988) Drainage basin morphometry and floods. In: Baker VR, Kochel RC, Patton PC (eds) *Flood geomorphology*, pp. 51-59. John Wiley and Sons, Canada.
- Pidwirny M (2006) Stream morphometry. In: *Fundamentals of physical geograph*. Second Edition. Available from: [www.physicalgeography.net/fundamentals/10ab.html](http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10ab.html).
- Pihak Berkuasa Air Pulau Pinang, 1996.
- Rodrique-Itrube I, Valdes JB (1979) The geomorphologic structure of hydrologic response. *Water Resources* **15**, 1409-1420.
- Scrimgeour GJ, Winterbourn MJ (1989) Effects of floods on epilithon and benthic macroinvertebrate populations in an unstable New Zealand river. *Hydrobiologia* **171**, 33-44.
- Strahler AN (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transaction American Geophysics Union* **38**, 913-920.
- Strahler AN (1978) *Modern physical geography*. John Wiley, New York.
- Subramanyan V (1981) Geomorphology of the Deccan volcanic province, India. In: Subbarao KV, Sukheswala RN (eds) *Deccan volcanism and related Basalt provinces in other parts of the world*, pp 101- 116. Memoir No. 3, GSI, Bangalore.
- Sulong Mohamad, Mohd Ekhwan Toriman, Kadarudin Aiyub, Mokhtar Jaafar (2005) *Sungai dan pembangunan tebingan sungai bandar Malaysia*. Penerbit Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.