



Analisis taburan hujan dan impaknya kepada sumber air di Pulau Pinang

Siti Fadzilatulhusni Mohd Sani¹, Main Rindam¹

¹Bahagian Geografi, Pusat Pengajian Pendidikan Jarak Jauh, Universiti Sains Malaysia
11800, Minden, Pulau Pinang

Correspondence: Siti Fadzilatulhusni Mohd Sani (email: husni_194@yahoo.com.my)

Abstrak

Kajian dan analisis taburan hujan tahunan dan bulanan ini adalah bertujuan untuk melihat tren atau pola taburan hujan berdasarkan perubahan iklim dan musim di daerah Timur Laut, Pulau Pinang. Selain itu, hasil kajian boleh digunakan dalam merangka pengurusan kepada penggunaan air di Pulau Pinang bagi mengenalpasti sumber air dan kitarannya. Rekod taburan hujan kawasan kajian daripada lima buah stesen Jabatan Pengairan dan Saliran selama sepuluh tahun (2001 hingga 2010) telah dikumpulkan dan dianalisis mengikut jumlah hujan tahunan dan bulanan. Perbandingan telah dibuat berdasarkan skala ruangan dan skala masa. Analisis perubahan pola tumpuan jumlah hujan telah menunjukkan bahawa majoriti tahun mempunyai tumpuan jumlah hujan di bahagian utara dan barat laut kawasan kajian (tahun 2001 hingga 2002, 2006 hingga 2009). Manakala pada tahun 2003 hingga 2005, dan 2010 tumpuan hujan beralih ke kawasan timur laut dan timur. Seterusnya, hasil daripada analisis taburan hujan tahunan mengikut skala masa pula mendapati bahawa semua stesen telah menunjukkan perubahan menaik dari segi jumlah hujan daripada tahun 2001 hingga 2010 kecuali stesen Kolam Bersih.

Katakunci: kitaran air, perubahan iklim, pengurusan air, pola taburan hujan, punca air, tumpuan hujan

Rainfall distribution and its impact on Penang's water resource

Abstract

This paper presents the findings and analysis of a study on the distribution of annual and monthly rainfall based on climate and seasonal change in the Northeast district of Penang, Peninsular Malaysia. The findings, it is proposed, may be used in the management of Penang's water resources, in particular, with respect to the identification of water sources and its cycle. Records of the rainfall distribution were gathered from five stations of the department of Drainage and Irrigation for the ten year period of 2001 to 2010. The data were then analysed according to annual and monthly rainfalls while comparisons were made based on both spatial and time scales. The analyses of the rainfall concentration patterns demonstrated that for the majority of the years observed (2001 to 2002, 2006 to 2009) rainfalls had concentrated in the north and northwest parts of the district. By comparison, rainfalls had concentrated on the east and northeastern parts of the district for the lesser period of 2003 to 2005, and 2010. All areas analysed showed that except for the Kolam Bersih station all stations had experienced marked increases in rainfall quantities for the period 2001 to 2010.

Keywords: climate change, rainfall concentration, rainfall distribution patterns, water cycle, water management, water sources

Pengenalan

Hujan merupakan salah satu bentuk kerpasan yang turun ke bumi sebagai salah satu daripada proses yang melengkapkan kitaran air bumi. Menurut Wan Ruslan (1994), hujan adalah merupakan salah satu daripada kerpasan yang berada dalam bentuk cecair di mana diameter butirannya adalah melebihi daripada 0.5 mm. Proses berlakunya kerpasan juga merupakan salah satu daripada proses atau tindakbalas untuk mencapai tahap keseimbangan bagi pelbagai jenis sistem yang terdapat di bumi. Antara sistem-sistem yang menjadikan hujan sebagai salah satu daripada mekanisme untuk mencapai tahap keseimbangannya adalah sistemimbangan air, proses pengangkutan sedimen dalam sistem saluran, sistem pembentukan dataran banjir, sistem pengairan kawasan tanaman, dan sistem iklim, termasuklah iklim mikro dan iklim makro. Keberkesanan atau impak hujan terhadap sesebuah sistem adalah bergantung kepada intensiti hujan yang berlaku pada suatu masa. Intensiti hujan adalah jumlah hujan yang turun dalam satu masa (Moody & Deborah, 2001; 'Azumi *et. al.*, 2010). Intensiti hujan dipengaruhi oleh beberapa faktor dalaman seperti ketepuan molekul air, haba pendam pelakuran, kadar sejatan, proses pembentukan awan, kadar litupan awan dan juga faktor-faktor luaran seperti kedudukan garis lintang, pergerakan angin monsoon, dan juga kepelbagaian lanskap muka bumi (Strangesway, 2007).

Dewasa ini, kajian tentang perubahan iklim semakin diberi perhatian oleh kebanyakan pengkaji dan ia dikaji berdasarkan pelbagai perspektif. Antara pengkaji yang membuat kajian mengenai kaji iklim ini adalah Blaikie *et. al.* (1994), Cvetkovich & Earle (1992), Harris *et. al.* (1978), dan Parker *et. al.* (1997). Mereka telah menemui banyak penemuan tentang daya tahan dan kemapanan bumi terhadap perubahan yang semakin ketara sehingga menjejaskan sesetengah fungsinya. Fauchereau *et. al.* (2003) dan Camerlengo & Somchit (2000) telah mengaitkan perubahan pola taburan hujan adalah diakibatkan oleh fenomena pemanasan global. Selain daripada pola taburan hujan, perubahan iklim bumi juga boleh dikenalpasti melalui analisis beberapa parameter dan petunjuk seperti taburan suhu (Ruksana *et. al.*, 2006), kejadian banjir lampau (Hernandez *et. al.*, 2009; Jacobson & Galat, 2008), kepelbagaian biodiversiti (Wilby & Perry, 2006), kualiti air (Christensen *et. al.*, 2004), kadar pencairan ais kutub (Bravo, 2009), sedimentasi (Enzel & Wells, 1997) dan banyak lagi. Kajian-kajian seperti ini digunakan bagi meramal atau melihat corak perubahan iklim bumi pada masa hadapan bagi mengambil langkah-langkah tebatan untuk mengelakkan kemerosotan indeks kualiti hidup yang lebih teruk pada masa hadapan.

Kajian-kajian seperti ini penting bagi negara seperti Afrika Selatan dan Sri Lanka yang mana kedua-duanya merupakan sebuah negara yang mempunyai iklim kering dan ketandusan sumber air bersih (Morishima & Akasaka, 2010; IWMI, 2009). Walaubagaimanapun, kajian seperti ini juga penting di Malaysia sebagai salah satu strategi merancang pengurusan sumber air yang lebih efisien. Memandangkan air merupakan salah satu enigma atau keperluan yang paling asas dalam kehidupan manusia, pengurusan sumber air khususnya mengenalpasti pola taburan hujan merupakan salah satu langkah yang wajar diambil bagi menjamin kemapanan fungsi bumi sebagai satu-satunya planet yang didiami manusia (Daniel *et. al.*, 2006; Muhammad Barzani *et. al.*, 2010). Malaysia merupakan negara yang kaya dengan sumber air disebabkan hujan tahunannya yang mencukupi iaitu 1500 mm hingga 3000 mm setahun dengan purata 2400 mm (Latif dan Chan, 1995; Muhammad Barzani *et. al.*, 2010; Suhaila & Abdul Aziz, 2007). Walaubagaimanapun, Malaysia sering dilanda oleh kepelbagaian bencana sumber air seperti kemarau, banjir, hujan asid, dan pencemaran air. Sebab utama berlakunya bencana air ialah taburan hujan yang tidak sekata, baik dari segi ruang dan masa (Chan, 2002). Di Malaysia, Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) dan Jabatan Meteorologi merupakan salah satu organisasi yang dipertanggungjawabkan bagi menggalas tugas ini disamping melibatkan kerjasama daripada pelbagai pihak kerajaan dan bukan kerajaan.

Daerah Timur Laut, Pulau Pinang merupakan kawasan yang padat dengan populasi manusia dan kepelbagaian aktiviti yang dijalankan. Antara aktiviti yang terdapat di Daerah Timur Laut adalah seperti penempatan, pusat pentadbiran, perniagaan dan perdagangan, jalinan pengangkutan, pusat tarikan pelancongan, dan banyak lagi. Semua aktiviti tersebut sebenarnya telah mengakibatkan beberapa kali revolusi guna tanah telah berlaku di atasnya. Bermula dengan sebuah kawasan hutan pada suatu ketika dahulu, kemudian menjadi kawasan pertanian dan penempatan, seterusnya kawasan pentadbiran, pusat bandar, sistem jaringan pengangkutan, juga tarikan pelancongan dan kini sebahagiannya telah diiktiraf oleh UNESCO sebagai tapak warisan sejarah. Revolusi yang berlaku ini secara langsung telah memberi impak kepada perubahan iklim, khususnya kepada taburan hujan (Lu *et. al*, 2008; Lee *et. al*, 2003; Maandi, 2010). Oleh itu, kajian ini dijalankan bagi melihat fenomena perubahan iklim melalui penilaian jumlah taburan hujan yang bacaannya dicerap menerusi lima stesen utama yang terdapat di daerah Timur Laut.

Objektif dan metodologi kajian

Kajian ini adalah bertujuan menganalisis taburan hujan tahunan dan bulanan yang memberi kesan kepada perubahan iklim daerah Timur Laut khususnya dan negeri Pulau Pinang umumnya yang berlaku dalam tempoh sepuluh tahun iaitu daripada tahun 2001 hingga 2010. Dapatan kajian adalah untuk melihat sejauhmana perubahan iklim yang berlaku dalam tempoh satu dekad kebelakang dipengaruhi oleh faktor perubahan iklim global. Seterusnya, hasil dapatan kajian boleh dimanfaatkan oleh pelbagai pihak sebagai panduan bagi merangka pengurusan sumber air. Hal ini kerana, kita tidak dapat menjangka perkara yang akan berlaku kelak. Bagi mencapai objektif kajian, data hujan daripada Januari tahun 2001 hingga Jun 2010 telah dikumpulkan dan dianalisis daripada lima buah stesen hujan terpilih di Daerah Timur Laut. Ia meliputi stesen hujan Kolam Bersih, klinik Bukit Bendera, Sungai Pinang (Jalan P. Ramlee), Kolam Takungan Air Hitam, dan Sungai Dondang.

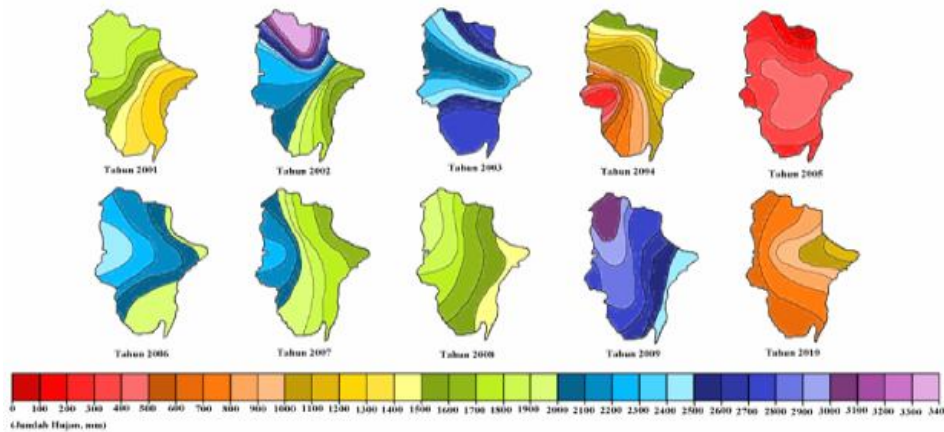
Analisis yang dijalankan terhadap data hujan ini adalah berpaksikan kepada analisis ruangan dan masa. Bagi analisis ruangan, jumlah hujan tahunan telah diplotkan mengikut stesen masing-masing. Kemudian, pemetaan garisan senilai (*isohyet*) yang mewakili taburan hujan tahunan dibuat bagi setiap tahun. Ia bertujuan mengenalpasti taburan hujan mengikut ruang dan perbandingan antara tahun dapat dilakukan. Di samping itu, perubahan pola taburan hujan dari tahun ke tahun juga dapat dilihat. Manakala analisis perubahan jumlah hujan bagi setiap bulan dapat dilakukan dengan melihat kepada graf perubahan jumlah hujan bagi setiap stesen. Daripada analisis ini, dapatlah ditentukan purata hujan sepanjang satu dekad kebelakang ini. Selain itu, fenomena ekstrim yang berlaku sepanjang sepuluh tahun ini juga dapat dikenalpasti.

Keputusan dan perbincangan

Perubahan pola hujan tahunan mengikut skala ruangan.

Dalam kajian ini, pola taburan hujan bagi setiap tahun dianalisis dengan melihat taburannya mengikut skala ruangan. Hasilnya, didapati sepanjang sepuluh tahun kebelakangan ini pola taburan hujan sentiasa berubah-ubah dengan jumlah hujan yang berbeza-beza pada setiap stesen. Secara keseluruhan, bahagian utara dan barat laut kawasan kajian mencatatkan jumlah hujan yang tinggi pada setiap tahun. Tumpuan yang tinggi terhadap jumlah hujan yang dikumpulkan oleh stesen-stesen ini adalah dipengaruhi oleh faktor letakan geografi yang mana kedudukannya berhampiran dengan laut terbuka berbanding kawasan lain yang dihalang oleh tanah besar semenanjung dan Daerah Barat Daya. Disamping itu, faktor bentuk muka bumi fizikal yang sebahagian daripadanya merupakan hutan simpan dan merupakan kawasan tadahan hujan. Selain itu, kawasan berbukit bukau seperti Bukit Bendera juga berada dikawasan barat laut. Selaras

dengan kajian Subimal *et. al* (2009) beliau juga mendapati faktor bentuk muka bumi fizikal dan kedudukan kawasan akan mempengaruhi jumlah tadahan hujan.



Rajah 1. Gambarajah isohyet mewakili taburan hujan mengikut ruang dari tahun 2001 hingga 2010

Analisis perubahan pola tumpuan jumlah hujan juga telah menunjukkan majoritinya mempunyai tumpuan jumlah hujan di bahagian utara dan barat laut (tahun 2001, 2002, 2006, 2007, 2008 dan 2009). Manakala pada tahun 2003, 2004, 2005, dan 2010 tumpuan hujan beralih ke kawasan timur laut dan timur. Selain daripada faktor musim dan peralihan monsun, faktor guna tanah juga amat mempengaruhi pola tumpuan hujan ini. Hal ini dikaitkan dengan peranan tumbuh-tumbuhan yang bertindak menjalankan proses sejatpeluhan lalu menyumbang kepada proses pembentukan awan (Zhang *et. al*, 2007). Ia terbukti benar kerana sebahagian daripada guna tanah yang terdapat di kawasan utara dan barat laut adalah hutan simpan dan bukit-bukau yang mana litupan tumbuh-tumbuhannya adalah lebih banyak berbanding dengan kawasan timur hingga selatan.

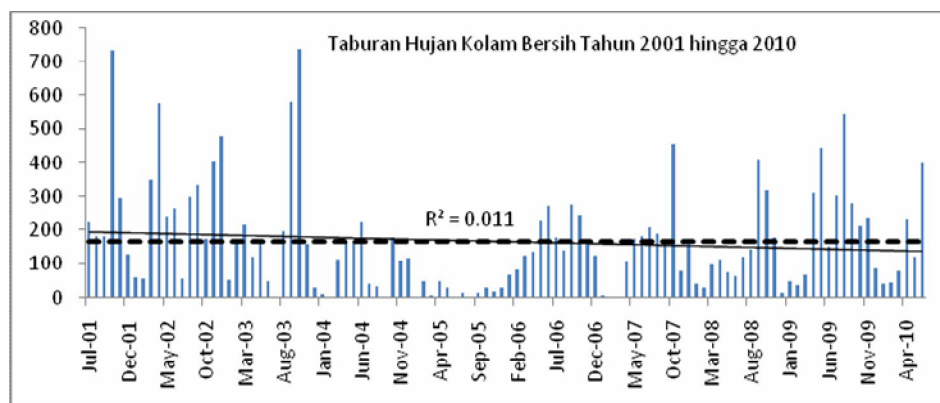
Pada tahun 2001, julat taburan hujan bagi daerah Timur Laut adalah dalam lingkungan 1000 mm hingga 1900 mm yang mana bacaan ini adalah diperingkat sederhana dan julatnya juga tidak begitu ketara. Pada tahun 2002, julat taburan hujan kelihatan amat ketara dimana julatnya adalah dalam lingkungan 1500 mm hingga 3400 mm setahun. Pada tahun 2003 pula, julat taburan hujan menjadi kembali tidak ketara iaitu dari 2000 mm hingga 2800 mm sahaja. Seterusnya pada tahun 2004, skali lagi julat taburan hujan menjadi begitu ketara iaitu, 100 mm hingga 1600 mm setahun. Walaubagaimanapun, pada tahun 2005 julat taburan hujan bukan sahaja menjadi tidak ketara, malah ia juga menjadi sangat rendah iaitu dari 0 mm hingga 500 mm. Hal ini memberi tafsiran bahawa pada ketika ini, hujan yang turun adalah begitu sedikit dan kemungkinan besar pada tahun 2005 itu berlakunya fenomena kemarau yang teruk. Seterusnya, pada tahun 2006 hingga 2010 julat taburan hujan berada pada tahap yang tidak begitu ketara iaitu 1900 mm hingga 2500 mm, 1600 mm hingga 2003 mm, 1400 mm hingga 2000 mm, 2400 mm hingga 3400 mm dan 600 mm hingga 1200 mm untuk tahun masing-masing.

Berdasarkan analisis jumlah hujan yang dibuat mengikut stesen-stesen yang terdapat di Daerah Timur Laut, didapati bahawa kelima-lima stesen mencatatkan purata hujan yang hampir serupa iaitu dalam lingkungan 100 mm hingga 200 mm. Walaubagaimanapun, setiap stesen banyak mencatatkan pola hujan yang tidak konsisten yang mana terdapat banyak bulan yang mencatatkan jumlah hujan yang sangat banyak dan ada juga bulan-bulan yang tidak berlaku hujan. Daripada analisis tren atau pola purata, semua stesen telah menunjukkan perubahan menaik dari segi jumlah hujan daripada tahun 2001 hingga 2010. Melainkan stesen Kolam Bersih yang telah menunjukkan sedikit penurunan kuantiti hujan. Ini bermakna, kebanyakan kawasan di

daerah Timur Laut semakin efisien dalam memainkan peranan sebagai kawasan tadahan hujan seterusnya memberi kelebihan kepada sirkulasi atau kitaran bekalan air di Pulau Pinang.

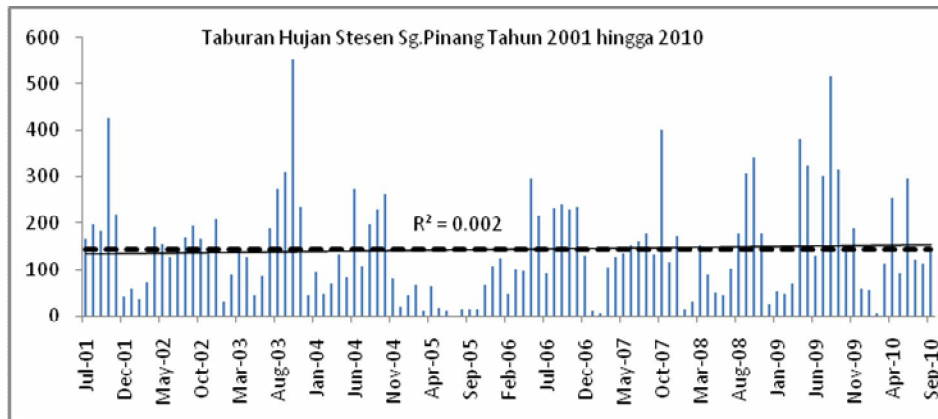
Perubahan pola hujan tahunan mengikut skala masa.

Mengikut rajah 2 hingga rajah 6, dapat dikenalpasti fenomena-fenomena ekstrim yang mana catatan jumlah hujan adalah terlampau banyak ataupun terlalu sedikit pada suatu ketika. Di stesen Kolum Bersih dan Sg.Pinang, bulan Oktober 2003 telah mencatatkan bacaan jumlah hujan yang paling tinggi iaitu sebanyak 738 mm dan 554 mm masing-masing. Manakala bagi stesen Sg.Dondang dan Kolum Tadahan Air Hitam, jumlah hujan tertinggi direkodkan pada bulan Ogos 2009 dengan catatan 568 mm dan 571 mm masing-masing. Seterusnya pada bulan Oktober 2001, stesen Bukit Bendera telah mencatatkan bacaan tertingginya dengan bacaan jumlah hujan sebanyak 617mm. Jika diperhatikan, kebanyakan fenomena ekstrim ini telah berlaku pada musim tengkujuh di mana hujan turun dengan banyaknya.

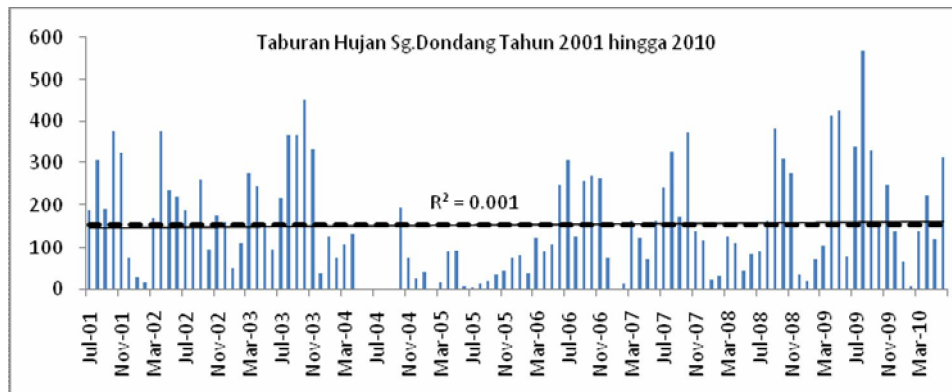


Rajah 2. Jumlah hujan di stesen hujan Kolum Bersih tahun 2001 hingga 2010

Walau bagaimanapun pada tahun 2005, telah dicatatkan rekod hujan yang paling rendah dan terdapat banyak tempoh yang tidak ada hujan. Ini bermakna, tahun 2005 berlakunya musim kemarau yang teruk dan juga fenomena El Nino. El Nino merupakan sebuah fenomena global yang menyebabkan iklim menjadi kering dan panas, aktiviti manusia seperti membuat pembakaran terbuka dengan mudah akan menyebabkan kebakaran merebak lalu menyebabkan jerebu berlaku (Field *et. al*, 2009).

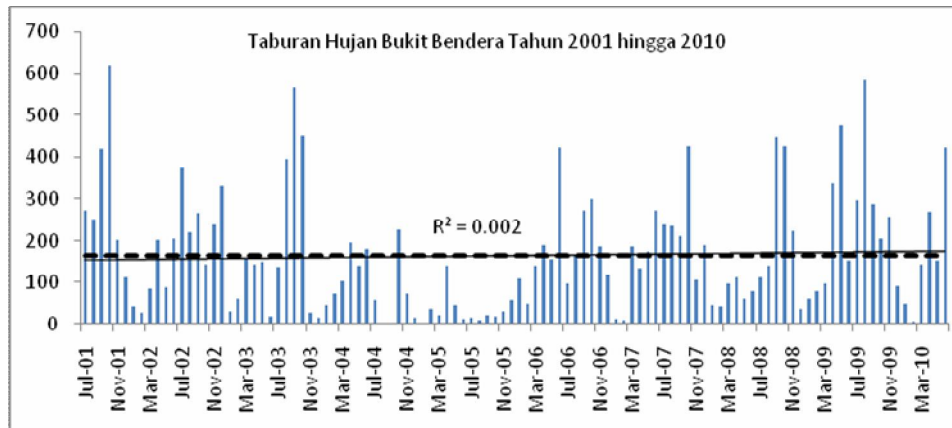


Rajah 3. Jumlah hujan di stesen hujan Sg.Pinang tahun 2001 hingga 2010

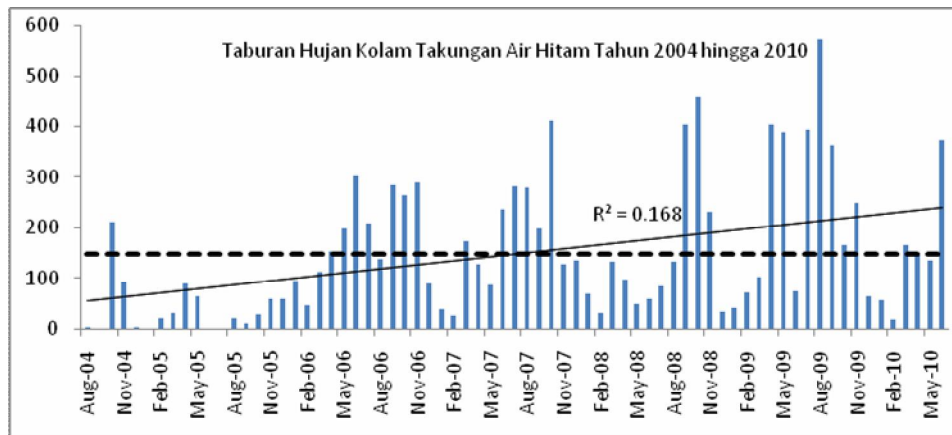


Rajah 4. Jumlah hujan di stesen hujan Sg.Dondang tahun 2001 hingga 2010

Hal ini terbukti apabila kajian Nicol (1997) dan Heil & Goldammer (2009) mendapati bahawa berlakunya fenomena jerebu akibat kebakaran terbuka pada tahun 2002, 2004, 2005, 2006, dan 2009. Akibatnya, partikel-partikel jerebu yang bertindak sebagai bahan nuklei kondensasi (*Could Condensation Nuclei* [CNN]) telah mengganggu pola hujan di sesuatu tempat (Latif & Rozali, 2000). Fenomena ini jelas memberi gambaran bahawa pada waktu ini sememangnya jumlah hujan yang turun di wilayah Asia Tenggara amnya, dan Pulau Pinang khususnya adalah berada pada takat minimum. Walaubagaimanapun, iklim makro yang dialami oleh Asia Tenggara tidak memberi kesan sepenuhnya kepada iklim mikro Pulau Pinang kerana Pulau Pinang merupakan sebuah pulau yang mempunyai iklimnya yang tersendiri. Oleh sebab itu secara kasarnya dapat dilihat, hanya tahun 2005 yang benar-benar mengalami kemarau akibat fenomena global.



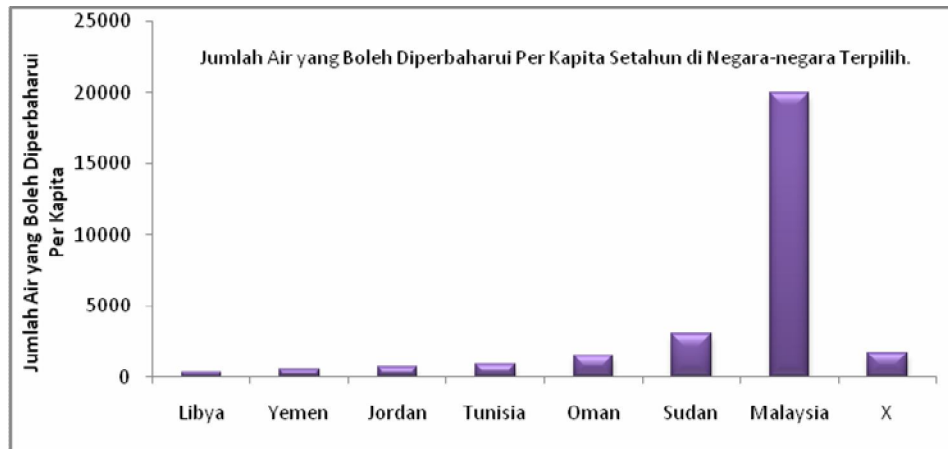
Rajah 5. Jumlah hujan di stesen hujan Bukit Bendera tahun 2001 hingga 2010



Rajah 6. Jumlah hujan di stesen hujan Kolum Takungan Air Hitam 2004 hingga 2010

Penggunaan air Pulau Pinang

Antara isu utama yang dihadapi oleh Malaysia dalam pengurusan alam sekitar ialah kejahilan pihak berkuasa tentang dasar atau polisi pengurusan sumber air. Walaupun Malaysia mempunyai iklim khatulistiwa yang panas dan lembap sepanjang tahun dengan purata hujan tahunan 3,000 milimeter (bersamaan dengan sumber air lebih kurang 990 bilion meter padu (BMP [1 BMP=1 juta megaliter]) setahun, dan lebih daripada 150 sistem sungai yang merupakan sumber bekalan air utama negara, banyak kawasan di negara ini yang masih mengalami masalah tekanan air (Chan, 2002). Malaysia mempunyai air yang boleh diperbaharui sebanyak 20,000 meter padu setahun berbanding dengan negara-negara timur yang lain yang hanya mempunyai kurang daripada 1,000 meter padu setahun (Chan, 2002). Ini bermakna, seorang penduduk Malaysia boleh memperoleh 20 kali lebih banyak air berbanding seorang penduduk Yaman (Rajah 7). Walaubagaimanapun, krisis air kerap berlaku di merata-rata tempat di negara ini.



Rajah 7. Jumlah air yang boleh diperbaharui per kapita setahun di negara-negara terpilih (X = Garisan Tekanan 1,700 meter padu per kapita setahun) (Chan, 2002)

Pertambahan penduduk dunia yang pesat telah menyebabkan wujudnya pertambahan permintaan air, bukan hanya dari aspek bekalan air awam sahaja malah dalam aktiviti-aktiviti pertanian dan perindustrian (Watung *et. al*, 2005). Proses urbanisasi yang semakin pesat berlaku di setiap pelusuk negara telah meningkatkan permintaan terhadap bekalan air bersih lantaran kenaikan taraf hidup dan kualiti hidup. Menurut Renganathan (2000), setiap penduduk bandar telah menggunakan sebanyak 500 liter perkapita sehari air bersih untuk kegunaan sehariannya. Keadaan ini telah menyebabkan banyak negara menggunakan pelbagai cara untuk mengawal dan menambah sumber bekalan air yang terdapat di dalam kawasan tadahan masing-masing. Antara langkah yang diambil bagi memelihara sumber bekalan air adalah menyekat kadar sejatpeluhan ataupun melalui cara-cara yang lebih bersifat ekonomi seperti mengenakan bayaran penggunaan air yang lebih tinggi, atau melalui hujan buatan (Jamaludin & Ismail, 1988).

Jika didapati kadar kerpasan tidak bertambah, kebanyakan langkah yang diambil bagi mengelakkan berlakunya defisit sumber bekalan air adalah dengan mengurangkan kadar sejatan dan menentukan sebahagian besar daripada kerpasan akan wujud sebagai aliran sungai. Di kawasan-kawasan yang gersang, tindakan menghalang kehilangan air melalui sejatan dari kawasan yang terdedah seperti tasik dan tasik buatan manusia biasa dilakukan melalui pembinaan kawasan tadahan bawah tanah atau menutup air dengan lapisan plastik mahupun menggunakan lapisan minyak di permukaan air tersebut (Jamaludin & Ismail, 1988). Manakala bagi memastikan wujudnya kerpasan sebagai aliran sungai pula, pembentukan awan tiruan akan dilakukan bagi membentuk hujan (Jamaludin & Ismail, 1988).

Di Pulau Pinang, kebanyakan kawasan tadahan airnya telah musnah akibat pembangunan atas kontur (Chan, 2002; Chan, 2000). Tindakan ini diambil atas alasan kekurangan tanah di Pulau Pinang. Walaubagaimanapun, Ketua Menteri Pulau Pinang telah meluluskan suatu Enakmen Bekalan Air pada Jun 1998 untuk mewartakan kawasan-kawasan tadahan air. Tindakan ini sememangnya dialu-alukan tetapi keberkesanan undang-undang begini perlu diteliti. Hal ini kerana sebelum ini sudah terdapat undang-undang untuk memelihara kawasan tadahan air secara tidak langsung, iaitu Akta Pemuliharaan Tanah 1960 (Dipinda daripada 1989), *Land Acquisition Act 1960*, *The EIA Order 1987* dan lain-lain. Tetapi semuanya tidak berkesan akibat penguatkuasaan yang tidak cekap (Chan, 2002).

Fenomena kemarau dan krisis air bukannya disebabkan oleh perubahan unsur-unsur fizikal dalam dunia semula jadi sahaja. Lebih-lebih lagi apabila masyarakat manusia terus mengubah persekitaran dan mengeksploitasi sumber air dan sumber-sumber yang berkaitan dengan air, fenomena ini akan terus berlaku (Ravagnani *et. al*, 2009). Selain itu, pengurusan sumber air yang kurang cekap oleh manusia juga telah menimbulkan pelbagai masalah. Justeru itu, untuk

mengatasi masalah kemarau dan krisis sumber air terhad, pertamanya pihak berkuasa perlu mengubah kepercayaan masyarakat bahawa Malaysia mempunyai sumber air yang tidak terhad kepada realiti sebenar iaitu negara kita mempunyai sumber air yang terhad sebenarnya.

Kesimpulan

Bahaya dan bencana air mempunyai perkaitan rapat dengan pembangunan dan proses pembangunan. Jika pembangunan tidak mapan, alam sekitar akan mengalami kemerosotan, proses-proses fizikal akan terganggu, seterusnya bencana akan menjadi lebih kerap dan dahsyat. Melihat kepada penggunaan air di Pulau Pinang, didapati bahawa penduduk Pulau Pinang belum mempraktikkan penggunaan air secara mapan berikutan sumber air di Pulau Pinang masih lagi belum kritikal. Walaubagaimanapun, secara terperinci hujan di Pulau Pinang kadang-kadang mengalami gangguan dari segi iklim yang tidak menentu. Justeru itu, amat penting untuk kita memahami pertalian kompleks antara pembangunan dan alam sekitar seterusnya memahami pola perubahan iklim semasa dan terkini. Kita harus mencari suatu keseimbangan antara pembangunan dan perlindungan alam sekitar. Memandangkan air merupakan sumber yang mustahak untuk pembangunan, maka amat penting untuk memastikan bahawa sumber ini dilindungi dan dibangunkan secara mapan.

Penghargaan

Terima kasih kepada Univesiti Sains Malaysia di atas pembiayaan geran penyelidikan universiti (RU) 1001/PJAUH/811113. Akhir kata, ucapan terima kasih kepada Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) untuk sumbangan data hujan.

Rujukan

- Agus F, Wahyunto RL, Watung SH, Tala'ohu, Sutono (2004) *Land use change and their effects on environmental functions of agriculture*. Prosiding Seminar Multifungsi Pertanian dan Ponselavsi Sumber Daya Lahan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. 18 Disember 2003 dan 1 Januari 2004.
- 'Azumi SD, Supiah S, Azmi A (2010) Modelling the distribution of rainfall intensity using hourly data. *American Journal of Environmental Science* 6 (3), 238- 243.
- Blaikie P, Cannon T, Davis I, Wisner B (1994) *At Risk: Natural hazards, people vulnerability and disasters*. Routledge, London.
- Bravo MT (2009) Voices from the sea ice: The reception of climate impact narratives. *Journal of Historical Geography* 35, 256- 278.
- Camerlengo AL, Somchit N (2000) Monthly and annual rainfall variability in peninsular Malaysia. *Pertanika Journal Science and Technology* 8 (1), 73- 83.
- 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, pembangunan dan peningkatkan bahaya dan bencana air di Malaysia: Isu, pengurusan dan cabaran*. Penerbit Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang.
- Cheevaporn V, Mookongpai P (1996) Pb²¹⁰ Radiometric dating of estuarine sediments from the eastern coast of Thailand. *Journal Science Social Thailand* 22, 313- 324.
- Christensen NS, Wood AW, Voisin N, Lettenmaier DP, Palmer RN (2004) The effect of climatic change on the hydrology and water resource of the Colorado river basin. *Climate Change* 62, 337- 363.

- Cvetkovich G, Earle TC (1992) Environmental hazards and the public. *Journal of Social Issues* **48** (4), 1- 20.
- Daniel LC, Joseph NB, Stephen ED, Christopher JM, David TR, Fred HS (2006) Relating precipitation and water management to nutrient concentrations in the Oligotrophic “upside-down” estuaries of the Florida Everglades. *Limnology Oceanography* **51**, 602- 616.
- Enzel Y, Wells SG (1997) Extracting Holocene paleohydrology and paleoclimatology information from modern extreme flood events: An example from Southern California. *Geomorphology* **19**, 203- 226.
- Fauchereau NS, Trzaska MR, Richard Y (2003) Rainfall variability and changes in Southern Africa during the 20th century in the global warming context. *Natural Hazards* **29**, 139- 154.
- Field RD, Van der Werf GR, Shen SP (2009) Human amplification on drought-induced biomass burning in Indonesia since 1960's. *Nature Geoscience* **2**, 185- 188.
- Harris RC, Hohenemser C, Kates RW (1978) Our hazardous environment. *Environment* **20**, 38- 40.
- Heil A, Goldammer JG (2001) Smoke-haze pollution: A review of the 1997 episode in Southeast Asia. *Regional Environmental Change* **2**, 24- 37.
- Hernandez ARP, Balling RC, Martinez LRB (2009) Comparative analysis of indices of extreme rainfall events: Variations and trends from Southern Mexico. *Atmosfera* **22** (2), 219- 228.
- International Water Management Institute (IWMI) (2009) Flexible water storage options: For adaption to climate change, Colombo, Sri Lanka. IMWI Water Policy Brief 31.
- Jacobson RB, Galat DL (2008) Design of a naturalized flow regime: An example from the lower Missouri River, USA. *Ecohydrology* **1**, 81- 104.
- Jamaludin MJ, Ismail A (1988) *Pengantar geografi fizikal*. Tropikal Press Sdn. Bhd, Kuala Lumpur.
- Latif Ibrahim, Chan NW (1995) Pola min hujan tahunan, musiman, dan bulanan di negeri-negeri barat laut semenanjung Malaysia: Satu analisis statistik. *Jurnal Ilmu Kemanusiaan* **2**, 95- 116.
- Latif MT, Rozali MO (2000) Inorganic component of dust fall during 1997 haze episode. *Malaysia Journal Environment Management* **1**, 55- 72.
- Lee JG, Heaney JP, Asce M (2003) Estimation of urban imperviousness and its impacts on storm water systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* **129** (5), 419- 426.
- Lu Y, Chen L, Fu B (2008) Land-cover effects on red soil rehabilitation in China: A meta-analysis. *Progress in Physical Geography* **32** (5), 491- 502.
- Maandi P (2010) Land Reforms and territorial integration in post-Tsarist Estonia, 1918-1940. *Journal of Historical Geography* **30**, 1- 12.
- Moody JA, Deborah AM (2001) Post-fire, rainfall intensity-peak discharge relations for three mountainous watersheds in the Western USA. *Hydrological Processes* **15**, 2981- 2993.
- Morishima W, Akasaka I (2010) Season trends of rainfall and surface temperature over Southern Africa. *African Study Monograph* **40**, 67- 76.
- Muhammad Barzani Gasim, Salmijah Surif, Mazlin Mokhtar, Mohamad Ikhwan Toriman, Sahibin Abdul Rahim, Chong HB (2010) Analisis banjir Disember 2006: Tumpuan di kawasan Bandar Segamat, Johor. *Sains Malaysiana* **39** (3), 353- 361.
- Nicol J (1997) Biochmatic impacts of the 1994 smoke-haze event in Southeast Asia. *Atmospheric Environment* **31**, 1209- 1219.
- Parker DJ, Nabiul I, Chan NW (1997) *Reconstruction after disaster*. Avebury, London.
- Ravagnani F, Pallegrielli A, Franchini M (2009) Estimation on impervious fraction from satellite images and its impact on peak discharge entering a storm sewer system. *Water Resources Management* **23**, 1893- 1915.
- Reganathan M (2000) Taking care of water. Kertas kerja Seminar Kebangsaan “Environmental Management Plan for the Proposal Beris Dam Project in Kedah Darul Aman”. Sg. Petani. 28 Februari - 1 March.

- Ruksana HR, Syed Hafizur Rahman, Samarenda Karmakar, Ghulam Hussain (2006) Trend analysis of climate change and investigation on its probable impacts on rice production at Satkhira, Bangladesh. *Pakistan Journal of Meteorology* **6** (2), 37- 50.
- Strangesway I (2007) *Precipitation: Theory, measurement, and distribution*. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Subimal G, Vishal L, Anant G (2009) Trend analysis of Indian summer monsoon rainfall at different spatial scales. *Atmospheric Science Letters* **10**, 285- 290.
- Suhaila Jamaludin, Abdul Aziz Jemain (2007) Fitting the statistical distributions to the daily rainfall amount in Peninsular Malaysia. *Jurnal Teknologi* **46** (c), 33- 48.
- Wan Ruslan Ismail (1994) *Pengantar hidrologi*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Ward RC (1975) *Principles of hydrology*. McGraw Hill, London. Edisi Kedua.
- Wilby RL, Perry GLW (2006) Climate change biodiversity and the urban environment: A critical review based on London, UK. *Progress in Physical Geography* **30** (1), 73- 98.
- Zhang X, Zwiers FW, Hegerl GC, Lambert FH, Gillet NP, Solomon S, Stott PA, Nazawa T (2007) Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature* **448**, 461 466.