

Aplikasi Kaedah Paras Ambang dalam Menentukan Peristiwa Kemarau di Lembangan Sungai Langat, Selangor, Malaysia

*Application of Threshold Level Method in Determining Drought Events in The
Sungai Langat Basin, Selangor, Malaysia*

Nordin Sakke¹, Hamirdin B. Ithnin² & Mohamad Suhaily Yusri Che Ngah²

¹Faculty of Humanities, Arts and Heritage, Universiti Malaysia Sabah, Kota Kinabalu, Sabah,
Malaysia

²Fakulti Sains Kemanusiaan, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjong Malim, Perak, Malaysia

¹e-mel: dinumss@gmail.com

Abstrak

Kemarau adalah fenomena yang dikaitkan dengan kekurangan air, yang pada kebiasaannya mendatangkan impak yang signifikan ke atas ekonomi, sosial dan juga alam sekitar di kawasan yang terlanda. Secara umumnya, kemarau boleh disifatkan sebagai satu keadaan sisihan yang berpanjangan daripada keadaan normal sesuatu pemboleh ubah air seperti kerpasan, aliran sungai, air bawah tanah dan lembapan tanah. Istilah keadaan normal merupakan inti terhadap mana-mana perbincangan kemarau kerana ia merupakan batasan antara kejadian kemarau atau tidak. Istilah keadaan normal juga dikenali paras ambang. Beberapa kaedah digunakan sebagai paras normal. Antaranya ialah penggunaan nilai purata, nilai median, purata dan 75% daripada purata, nilai purata tolak satu sisihan piawai dan nilai lampauan peratusan terendah yang diperolehi daripada keluk tempoh alir (KTA). Dalam konteks kajian ini, nilai lampauan (persentil - Q) daripada KTA digunakan untuk menentukan peristiwa kemarau. Tempoh 49 tahun data luahan bagi stesen Dengkil digunakan bagi menentukan nilai Q . Dengan menggunakan persentil $Q_{70} = 16.27 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $Q_{80} = 12.91 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $Q_{90} = 9.71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ dan $Q_{95} = 7.61 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ sebagai paras ambang kemarau, didapati bilangan peristiwa kemarau, jumlah hari defisit dan jumlah defisit luahan yang terhasil adalah berbeza. Berpandukan kepada analisis, bilangan hari defisit pada paras Q_{95} iaitu 62 hari dengan satu peristiwa kemarau berbanding pada paras Q_{70} iaitu sebanyak 1971 hari dengan 25 peristiwa kemarau. Bagi jumlah defisit luahan, sebanyak $19904.17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ terhasil pada paras Q_{70} berbanding $427.55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ bagi paras Q_{95} . Jumlah defisit yang dicatatkan sekitar 3.33 % daripada keseluruhan jumlah luahan. Daripada jumlah ini, 54.30 % dikategorikan sebagai kemarau biasa ($Q_{70} - Q_{79.9}$), 30.83 % dikategorikan sebagai kemarau sederhana ($Q_{80} - Q_{89.9}$), 12.72 % dikategorikan sederhana parah ($Q_{90} - Q_{94.5}$) dan selebihnya iaitu 2.15 % dikategorikan parah (Q_{95} ke atas).

Kata kunci kemarau hidrologi, kaedah paras ambang, peristiwa kemarau

Abstract

Drought is a phenomenon associated with water shortages that usually have significant economic, social and environmental impacts on areas affected. Generally, drought is a condition of prolonged deviation of water from the normal level of any variable of water such as precipitation, streamflow, groundwater and soil moisture. The term of normal condition is one of the keywords used in any discussion about droughts because it is the boundary between the occurrence of drought or otherwise. The term of normal condition is also known as the threshold level. Several methods are used to refer to a normal level. Some of the methods used are the mean, the median, average and 75% of the average, minus one standard deviation of the average and percentile value that is obtained from a flow duration curve (FDC). In the context of this study, threshold level (PA) method using the percentile value (Q) from the FDC is used to determine a drought event (PK). By using Q -percentile, PA values from 49 years of discharge data at Dengkil station were obtained namely $Q_{70} = 16.27 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $Q_{80} = 12.91 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $Q_{90} = 9.71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ and $Q_{95} = 7.61 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ as threshold level, it was found that the number of drought events, the number of deficit days and total discharge deficits differ. Based on the analysis, the number of drought day deficit at the level of Q_{95} were 62 days with 1 drought events (PK) compared to Q_{70} that had 1971 deficit days with 25 PK. For the deficit volume, the total was $19904.17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ at Q_{70} level compared to $427.55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ at Q_{95} level. The total deficit volume recorded was approximately 3.33% of the total discharge.

From this deficit volume, 54.30% were categorized as normal drought ($Q_{70} - Q_{79.9}$), 30.83% were categorized as mild drought ($Q_{80} - Q_{89.9}$), 12.72% were categorized Moderate Severe ($Q_{90} - Q_{94.9}$) and the remaining 2.15% are categorized as severe drought (Q_{95} and above).

Keywords hydrological drought, threshold methods, drought events

Pengenalan

Kemarau adalah sebahagian daripada fenomena iklim semula jadi yang dianggap sebagai salah satu peristiwa yang rawak dan jarang berlaku. Ia merupakan satu fenomena iklim berulang yang berlaku pada semua zon iklim di dunia. Sifat-sifat kemunculan kemarau yang berbeza dari satu kawasan dengan kawasan yang lain, menunjukkan ia satu fenomena yang kompleks dan kekal kurang difahami (Wilhite, Svoboda & Hayes, 2007). Saling kebergantungan antara pemboleh ubah-pemboleh ubah cuaca, hidrologi, geologi, bentuk bumi, ekologi dan masyarakat, menyebabkan agak sukar untuk menerima satu definisi yang seragam yang dapat menerangkan keseluruhan fenomena kemarau dan impak yang terhasil (Awass, 2009). Penjelasannya amat bergantung kepada perbezaan ruang dan konteks di mana ia melanda, objektif kajian, kesediaan data dan kepentingan individu pengkaji.

Kemarau adalah kejadian anomali yang bersifat sementara dan ia berbeza dengan beberapa fenomena ketidakcukupan air (*water scarcity*) yang lain seperti kegersangan (*aridity*), disertifikasi (*desertification*) dan kekurangan air (*water shortage*). Kemarau merupakan fenomena iklim yang berlaku secara semula jadi berbanding dengan fenomena disertifikasi dan kekurangan air yang wujud disebabkan oleh gangguan dan campur tangan manusia. Walaupun fenomena kegersangan merupakan fenomena kekurangan air secara semula jadi, namun ia berbeza dengan kemarau kerana kegersangan bersifat kekal manakala kemarau bersifat sementara (Pereira, Cordery & Iacovidis, 2009). Hubungan dan perbezaan keempat-empat fenomena ini dapat dilihat melalui rajah matriks seperti berikut (Rajah 1).

	FENOMENA SEMULAJADI	FENOMENA HASIL GANGGUAN MANUSIA
KEKAL	<p>KEGERSANGAN (<i>Aridity</i>) Sebab : Rendah jumlah hujan Akibat : Kebolehdapatan air rendah</p>	<p>DISERTIFIKASI (<i>Desertification</i>) Sebab : Kualiti sumber tanah kualiti Akibat : Kebolehdapatan air berkurangan</p>
SEMENTARA	<p>KEMARAU (<i>Drought</i>) Sebab : Penyusutan hujan Akibat : Kebolehdapatan air berkurangan</p>	<p>KEKURANGAN AIR (<i>Water Shortage</i>) Sebab : Sumber air dilombong/kualiti menurun Akibat : Kebolehdapatan air berkurangan</p>

Rajah 1 Kekurangan air hasil persekitaran dan pengaruh manusia

Sumber: Ubah suai daripada Pereira et al., (2009)

Mencari satu takrifan yang sesuai berkaitan kemarau adalah penting untuk mendapat pemahaman yang lebih baik. Ia bertujuan memudahkan penganalisisan terhadap fenomena yang kompleks ini (Loukas & Vasiliades, 2004). Untuk menghasilkan satu definisi yang sama bagi mewakili semua peristiwa kemarau adalah sangat sukar kerana tidak ada dua kemarau yang mempunyai tahap, tempoh, intensiti atau impak yang sama. Di samping itu perbezaan pemboleh ubah hidrometeorologi dan faktor sosioekonomi serta sifat stokastik permintaan air di kawasan yang berbeza di seluruh dunia, menjadi penghalang untuk mendapatkan definisi yang tepat berkenaan kemarau (Mishra & Singh, 2010). Lantaran itu usaha untuk menyatukan definisi dilihat malap dan beberapa definisi berlainan terus kekal digunakan (Wilhite, Hayes, Knutson dan Smith, 2000). Selagi wujud perbezaan dari segi konsep, parameter yang dilihat dan prosedur pengukuran oleh kalangan pakar dalam pelbagai bidang, adalah sukar untuk menggunakan satu definisi yang diterima pakai oleh semua manusia di bumi (Awass, 2009).

Palmer (1965) menyatakan bahawa kemarau mempunyai maksud yang pelbagai mengikut keanekaragaman manusia, bergantung kepada kehendak dan kepentingan tertentu mereka. Walaupun

semua jenis kemarau berpunca daripada kekurangan hujan yang diterima (Wilhite & Glantz, 1985), namun fenomena ini dilihat berbeza oleh pengguna air yang berbeza (Bradford, 2000) dan pentakrifannya bergantung kepada siapa yang menggunakannya (Allaby, 2003). Untuk petani, kemarau bermakna kekurangan kelembapan dalam zon akar tanaman. Untuk ahli hidrologi, kemarau bermaksud keadaan air di sungai, tasik dan kolam berada di bawah paras normal. Bagi ahli ekonomi pula, ia bermakna kekurangan yang menjejaskan perkembangan ekonomi. Oleh itu terdapat keperluan untuk mendefinisikan kemarau secara berbeza kerana ia mempengaruhi pelbagai sektor dalam masyarakat (Wilhite & Glantz, 1985). Oleh itu tidak menghairankan apabila Wilhite & Glantz, (1985) dan (Allaby, 2003) menyatakan bahawa terdapat lebih daripada 150 definisi berkaitan kemarau telah diterbitkan yang setiap satunya dikaitkan cabang sains masing-masing.

Defini dan Konsep Kemarau

Secara umumnya, kemarau boleh disifatkan sebagai satu keadaan sisihan yang berpanjangan daripada keadaan normal sesuatu pemboleh ubah air seperti kerpasan, aliran sungai, air bawah tanah dan lembapan tanah (Tallaksen & van Lanen, 2004). Kemarau sangat berkait dengan proses-proses dalam kitaran hidrologi kerana setiap jenis dan tahapan kemarau saling mempengaruhi antara satu sama lain (Nguyen, 2006). Ini kerana semua jenis kemarau bertitik tolak daripada kekurangan kerpasan yang mengakibatkan kekurangan bekalan air untuk sesetengah aktiviti atau kumpulan (Wilhite & Glantz, 1985). Dalam kitaran hidrologi, setiap peringkat kemarau mempunyai saling kaitan antara satu sama lain kerana kemarau yang berlaku pada satu peringkat, boleh menyebabkan kemarau pada peringkat yang lain. Saling hubungan kemarau dilihat dengan permulaan pengurangan ketara curahan jumlah kerpasan yang diterima berbanding dengan purata hujan biasa, dan pada masa yang sama situasi ini diiringi oleh peningkatan suhu yang mewujudkan persekitaran kering yang menyebabkan peningkatan kadar sejat-peluhan dan pengurangan kadar susupan (*infiltration*) dan pergerakan masuk air ke bawah tanah (*groundwater recharge*). Jika hujan ini terus berkurangan, ia boleh membawa kepada air tanah yang defisit dengan ketara dan boleh menyebabkan tekanan air ke atas tanaman dan produktiviti menyusut. Peringkat terakhir evolusi kemarau ialah di mana apabila penurunan hujan terus berkurangan dalam tempoh masa yang panjang, akan memberi kesan ke atas aliran sungai. Akibatnya aliran masuk bagi mengisi takungan (*reservoir*), tasik dan ekosistem tanah lembap yang dikaitkan dengan badan air akan turut terjejas.

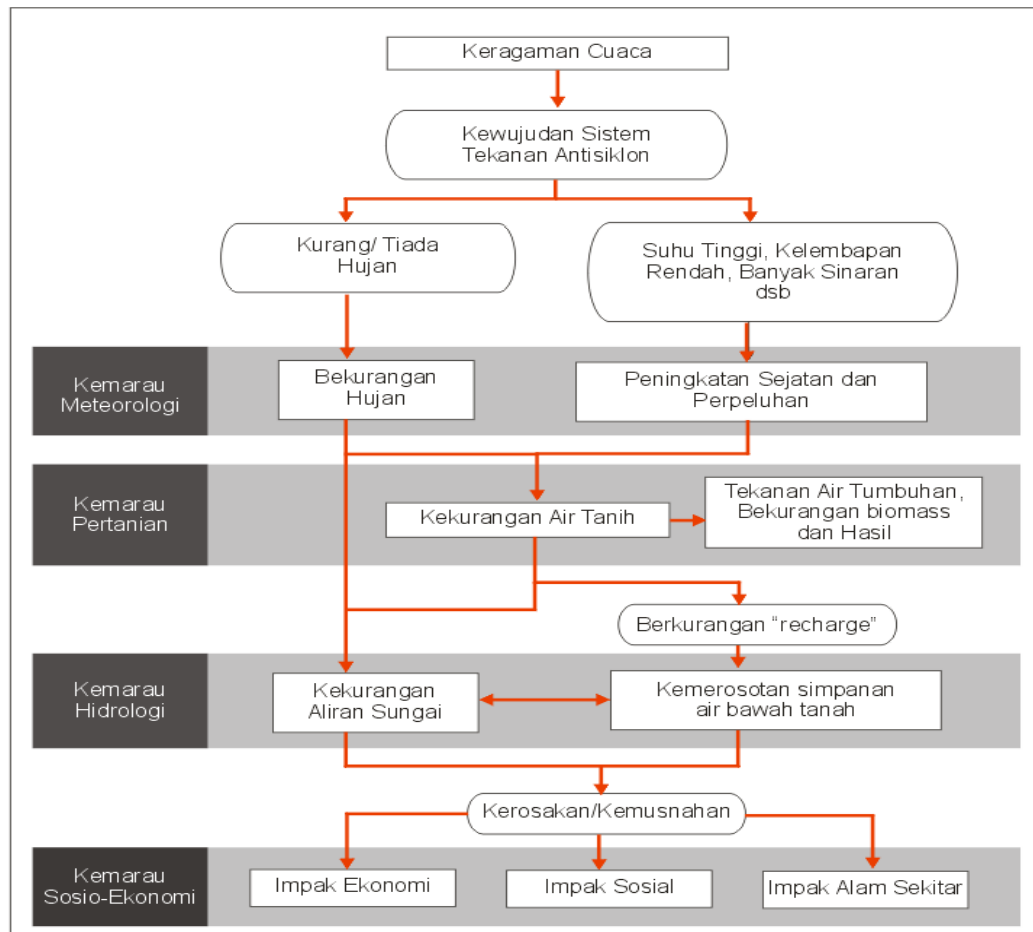
Kekurangan air yang wujud pada pelbagai peringkat kitaran hidrologi membolehkan kemarau dapat dikelompokkan kepada lima kategori mengikut disiplin tertentu (Rajah 2). Kategori tersebut meliputi Kemarau Meteorologi (*Meteorological Drought*), Kemarau Hidrologi (*Hydrological Drought*), Kemarau Pertanian/Ekologi (*Agricultural/Ecological Drought*), Kemarau Sosioekonomi (*Socio-economic drought*) (Dracup, Lee, & Paulson, 1980a; Mishra dan Singh, 2010; Wilhite dan Glantz, 1985). Kemarau meteorologi dinyatakan hanya berdasarkan kepada pengukuran tahap kekeringan dari sudut kekurangan hujan (Keyantash & Dracup, 2004). Kemarau hidrologi merupakan kekurangan kebolehsediaan air dari segi jumlah aliran sungai, simpanan takungan air dan air bawah tanah (Wilhite, 2000). Kemarau pertanian dinyatakan berdasarkan defisit kelembapan tanah (Mishra & Singh, 2010). Manakala kemarau sosio-ekonomi merupakan kemarau yang berlaku apabila kekurangan air secara fizikal mula menjejaskan kesihatan, kesejahteraan dan kualiti hidup rakyat. Kemarau ini mula memberi kesan kepada bekalan dan permintaan produk ekonomi seperti air, pengeluaran ikan, penjanaan kuasa hidroelektrik dan lain-lain (Barua, 2010).

Metodologi dan Data

a. Definisi Kemarau Hidrologi

Lorenzo-Lacruz, Moran-Tejeda, Vicente-Serrano & Lopez-Moreno (2013) dan Nalbantis & Tsakiris (2009) menyatakan bahawa kemarau hidrologi ditakrifkan sebagai penurunan ketara dalam kebolehsediaan air dalam semua bentuknya yang terdapat dalam fasa permukaan kitaran hidrologi terutamanya fasa tanah. Bentuk-bentuk ini digambarkan melalui pelbagai pemboleh ubah hidrologi seperti aliran sungai, tasik dan paras takungan air dan paras air bawah tanah. Daripada senarai pemboleh ubah tersebut, aliran sungai merupakan pemboleh ubah yang telah digunakan secara meluas dalam analisis kemarau hidrologi (Dracup, Lee, & Paulson, 1980b; Hisdal, Stahl, Tallaksen, &

Demuth, 2001; Kasperek & Novicky, 2002; Shiau, Feng & Nadarajah, 2007; Stahl & Demuth, 1999; Van Loon, 2013). Ini kerana, luahan sungai merupakan pemboleh ubah yang paling ketara dari segi kuantiti air dan pemboleh ubah utama untuk menyatakan status sumber air permukaan (Nalbantis & Tsakiris, 2009).



Rajah 2 Pengelasan Kemarau mengikut Peringkat Kitaran Hidrologi

Sumber: Ubahsuai daripada Wilhite & Glantz (1985)

Oleh itu bagi memastikan ketepatan dalam analisis ini, pengkaji telah memilih beberapa definisi yang digunakan sebagai sandaran. Selaras dengan keinginan untuk mengkaji sifat kemarau aliran sungai di kawasan membangun, beberapa definisi telah dipilih untuk dijadikan sandaran dalam menganalisis kemarau hidrologi, Antaranya:

- i. Ia merupakan satu tempoh di mana luahan kurang daripada normal atau dalam kajian berorientasikan permintaan, ia merupakan tempoh semasa luahan tidak mencukupi (Rossi, 2011).
- ii. Ia adalah satu tempoh yang di mana sumber air permukaan dan sub-permukaan tidak mencukupi untuk kegunaan air secara mapan terhadap sistem pengurusan air tertentu (Mishra & Singh, 2010).
- iii. Ia merupakan tempoh musim kering yang tidak normal dan panjang di mana air tidak mencukupi untuk keperluan normal pengguna (*Bureau of Meteorology*, 2006).

Daripada definisi di atas, terdapat terma-terma penting telah dikenal pasti untuk mendefinisikan kemarau dalam konteks kawasan kajian. Terma-terma tersebut meliputi:

- iv. Kemarau hanya berlaku semasa tempoh musim kering. Dalam konteks cuaca di Malaysia, musim kering berlaku pada bulan Januari hingga Februari dan Jun hingga Ogos serta pada musim El-Nino/ENSO melanda.

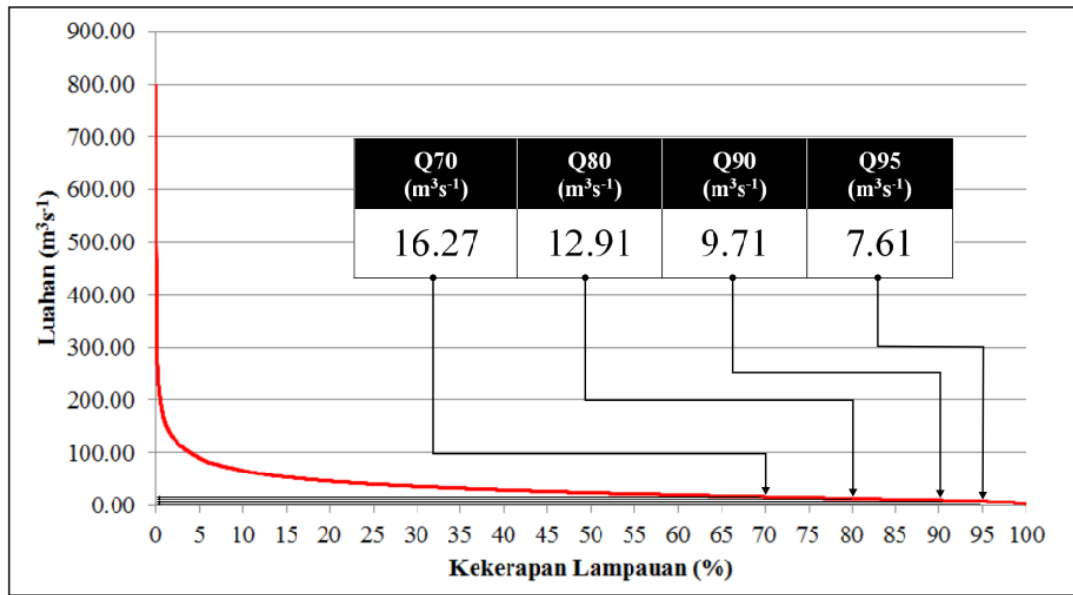
- v. Kemarau berlaku dalam satu tempoh tertentu. Jabatan pengairan dan saliran telah menetapkan tempoh tertentu merujuk tiga bulan = 180 hari (MKN, 2011). Dalam konteks Langat, tempoh tertentu merujuk 45 hari iaitu berpandukan kepada masalah catuan yang berlaku di awal 2014. Jumlah hari ini ditentukan berpandukan permulaan ketiadaan hujan pada 14hb Januari 2014 di stesen-stesen curahan di lembangan Langat hingga permulaan tindakan catuan air dilakukan pada 27 Februari 2014 (SYABAS, 2014).
- vi. Kemarau merupakan peristiwa kekurangan air bawah normal. Istilah bawah normal merujuk kepada peristiwa aliran rendah rekod data. Dalam penyelidikan ini aliran rendah merujuk aliran kurang daripada paras purata luahan tempoh rekod. Penentuan nilai “normal” ini adalah penting bagi menerangkan sifat-sifat utama kemarau iaitu magnitud dan tempoh dapat diterangkan. Dalam konteks kajian ini, paras normal merujuk kepada paras nilai Q persentil iaitu Q_{70} yang diperolehi daripada keluk tempoh alir – KTA (*flow duration curve*).

b. Penentuan Peristiwa Kemarau (PK)

Peristiwa kemarau (*drought event*) ialah satu kejadian defisit air dalam satu tempoh masa tertentu di mana jumlah luahan berada kurang daripada paras ambang/normal sesuatu siri masa. Antara ciri penting satu-satu peristiwa iaitu tempoh (permulaan dan pengakhiran kemarau) dan paras normal/ambang. Ciri ini dapat digambarkan melalui pemetaan keluk hidrograf di mana kemarau mula berlaku apabila nilai luahan merentas ke arah bawah garis paras ambang/normal dan kemarau dikatakan akan berakhir apabila nilai luahan merentas naik memotong garis paras ambang/normal. Menentukan satu-satu peristiwa kemarau, sifat-sifat kemarau seperti tempoh, bilangan peristiwa dan kekerapan ulangan, jumlah defisit dan intensiti dapat dianalisa.

i. Penentuan Paras Ambang (PA)

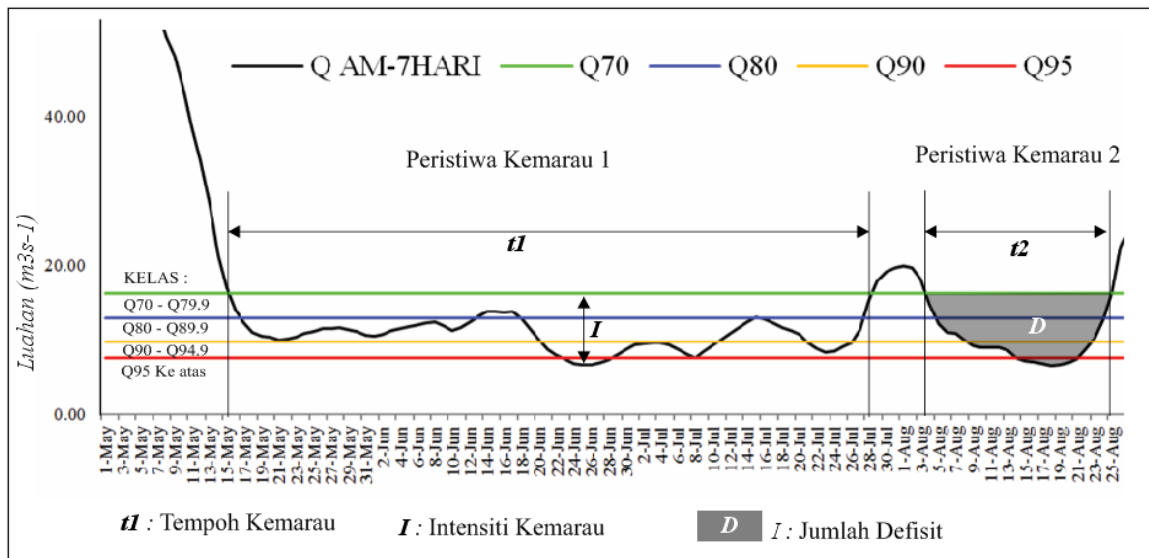
Nilai paras ambang/normal merujuk satu nilai yang tetap yang dapat memisahkan antara kejadian kemarau atau tidak. Dalam beberapa kajian lepas, beberapa kaedah telah digunakan untuk menentukan paras ambang. Antaranya penggunaan nilai purata (Bonacci, 1993), nilai median (Griffiths, 1990), purata dan 75% daripada purata (Clausen & Pearson, 1995), nilai purata tolak satu sisihan piawai (Maneo, 2008) dan nilai lampauan peratusan terendah yang diperolehi daripada keluk tempoh alir (Zelenhasic & Salvai, 1987; Hisdal et al., 2000). Nilai persentil daripada KTA akan digunakan dalam penyelidikan ini kerana merupakan kaedah yang paling banyak digunakan dalam kajian kemarau. Oleh itu PA antara $Q_{70} - Q_{95}$ akan digunakan berdasarkan kajian-kajian lepas, Oleh itu PA antara $Q_{70} - Q_{95}$ akan digunakan berdasarkan kajian-kajian lepas, seperti (Byzedi et al., 2012; Fleig, et al., 2006; Tallaksen, Madsen, & Clausen, 1997). Kaedah yang paling sesuai bagi membentuk KTA dengan menggunakan plot kebarangkalian log-normal. Dalam perisian Microsoft Excel 2013, siri masa luahan sungai disusun semula dalam bentuk nilai aliran siri masa mengikut urutan mengecil (*descending order*). Dua lajur (*column*) tambahan dibentuk iaitu lajur urutan (*rank*), i dan kekerapan lampauan (ef). Rank, i merujuk kepada kedudukan nilai luahan mengikut urutan membesar (*ascending order*) manakala kekerapan lampauan (ef) merujuk kepada peratusan lampauan nilai luahan. Ia dikira dengan membahagi sesuatu nilai urutan, i dengan nilai maksimum urutan, i dalam siri data. Nilai kekerapan lampauan kemudiannya ditukar kepada bentuk peratusan. Susunan baru nilai luahan kemudiannya diplotkan berdasarkan nilai luahan melawan peratusan kekerapan lampauan (% ef) untuk membentuk KTA. Setelah KTA siap di petakan, nilai PA jumlah luahan dapat ditentukan menggunakan paras persentil Q (kekerapan lampauan) yang dipilih (Rajah 3).



Rajah 3 Nilai Paras Ambang (m³s⁻¹) menggunakan kaedah KTA bagi Stesen Dengkil tahun 1965 – 2013

ii. Penentuan Ciri Kemarau dan Kelas Kemarau

Melalui penentuan PA tersebut, sifat kemarau dapat ditentukan daripada keluk hidrograf. Sifat-sifat kemarau seperti bilangan peristiwa, tempoh kejadian, jumlah defisit dapat dijelaskan mengikut tiga kelas keparahan kemarau. Dengan itu, dalam kajian ini kelas keparahan kemarau berdasarkan nilai persentil Q dibahagikan kepada empat kelas iaitu Q₇₀–Q_{79.9} – Kemarau Biasa, Q₈₀ – Q_{89.9}– Sederhana Parah (*Mild*), Q₉₀ – Q_{94.9} – Parah (*Moderate*) dan Q₉₅ ke atas - Sangat Parah (*Severe*). Ringkasan ciri kemarau dan kelas keparahan ini seperti digambarkan dalam rajah 4 di bawah.



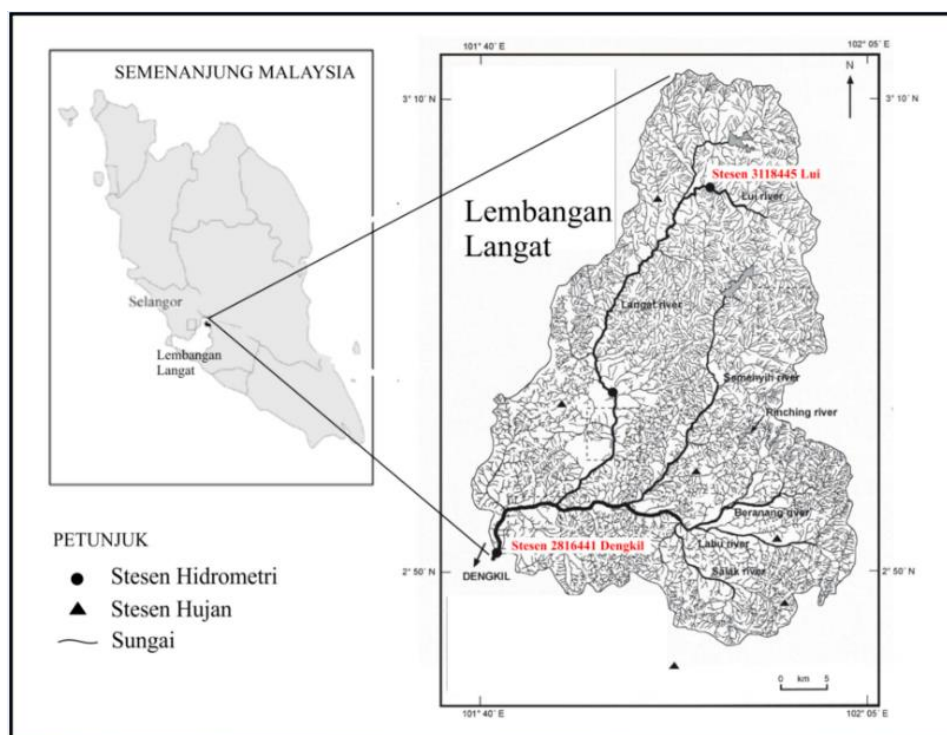
Rajah 4 Sifat Kemarau dan Kelas Keparahhan Persentil Q

c. Data dan Kawasan Kajian

Lembangan Sg. Langat terletak di bahagian pantai barat Semenanjung Malaysia dan paling selatan negeri Selangor. Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur dan Putrajaya antara kawasan penting yang terletak di bahagian barat laut lembangan, Pahang di bahagian Utara, Negeri Sembilan di bahagian Timur dan Selat Melaka di bahagian Selatan. Lembangan ini mengunjur dari gugusan pergunungan Titiwangsa ke Selat Melaka pada kedudukan antara latitud 02° 40' 15" hingga 03° 16' 15" U dan pada kedudukan longitud 101° 19' 20" hingga 102° 01' 10" T. Anggaran keluasan kawasan lembangan

iaitu 2,348 km persegi (DID, 2011). Ia merangkumi tiga daerah penuh pentadbiran iaitu Hulu Langat, Sepang dan Kuala Langat dan sebahagian daerah pentadbiran bagi Klang dan Nilai, Negeri Sembilan. Sebanyak 20 buah kawasan pentadbiran di peringkat mukim terangkum dalam kawasan ini iaitu 17 di Selangor dan tiga di Negeri Sembilan (Abdul Samad et al., 2006). Dalam konteks kajian ini, liputan kajian hanya meliputi bahagian atas Lembangan Langat (*Upper Langat Basin*) yang ditunjukkan dalam rajah 3. Ia meliputi Majlis Daerah Hulu Langat (Hulu Langat), Majlis Perbandaran Kajang (Cheras, Kajang, Ulu Semenyih, Semenyih dan Beranang), sebahagian Majlis Daerah Sepang (Sebahagian Dengkil), Sebahagian Majlis Perbandaran Nilai (Lenggeng dan Setul) hampir keseluruhan Perbadanan Putrajaya-Cyberjaya dan sebahagian kecil Dewan Bandaraya Kuala Lumpur (DBKL). Stesen hidrometri Dengkil yang digunakan dalam kajian ini terletak berhampiran Taman Dengkil di Jambatan Jalan Dengkil.

Data luahan bagi stesen Stesen Dengkil (No. Stesen 2816441) diperolehi daripada JPS, dimuat turun secara langsung daripada pangkalan data JPS menggunakan perisian NIWA Tideda 4.0. Data ini dieksport dalam format digital (*.txt) dan diintegrasikan dengan perisian Microsoft Excel. Data yang diperolehi ini merupakan data luahan harian yang mencakupi tempoh antara 49 tahun iaitu 1965 hingga 2013 yang mencakupi bilangan cerapan sebanyak 17897 hari. 15% *missing data* yang wujud sepanjang tempoh rekod telah diisi melalui proses bina semula dan penapisan dengan menggunakan kaedah perkadaran semula, interpolasi mudah, regresi linear, purata aritmetik dan analisis jisim berganda. Data tahun 1998 telah diabaikan melalui proses ini kerana masalah data. Oleh itu data tahun 1998 telah dikeluarkan daripada analisis kemarau bagi kawasan kajian.



Rajah 5 Lokasi kawasan kajian

Hasil dan Analisis Dapatan Kajian

Bilangan peristiwa dan Tempoh Kemarau

Berasaskan rekod 49 tahun (1965 – 2013) data luahan bagi stesen Dengkil, bilangan tahun yang telah dilanda kemarau sekitar 22 tahun di mana peristiwa kemarau terawal dicatatkan berlaku selama dua bulan iaitu bermula pada 23 Januari dan berakhir pada 31 Mac tahun. Bermula daripada peristiwa ini, sebanyak 24 peristiwa kemarau (PK) telah dicatatkan berlaku. Bilangan PK dilihat melebihi jumlah

tahun kemarau melanda. Perbezaan jumlah ini adalah disebabkan oleh wujud ulangan kehadiran PK sehingga dua kali dalam setahun seperti dicatatkan pada tahun 1981, 1986, 2001 dan 2005. Jumlah hari defisit luahan yang dicatatkan sepanjang tempoh 25 episod kemarau ialah sekitar 1971 hari. Ia merupakan 11% daripada keseluruhan jumlah hari cerapan rekod (17897 hari).

Berdasarkan kepada pengamatan dalam tempoh rekod, bilangan PK dan bilangan hari yang mengalami defisit luahan adalah berbeza-beza mengikut nilai paras ambang (PA). Nilai PA bagi setiap persentil Q yang diperolehi daripada keluk KTA iaitu $Q_{70} = 16.27 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $Q_{80} = 12.91 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $Q_{90} = 9.71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ dan $Q_{95} = 7.61 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Berpandukan nilai yang berbeza ini, ciri-ciri bilangan hari defisit dan PK juga berbeza seperti berikut:

- i. Pada paras $Q_{95} = 7.61 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, bilangan PK yang terhasil hanyalah satu peristiwa dengan tempoh hari defisit selama 62 hari. Tempoh ini merupakan 0.35 % daripada keseluruhan hari cerapan. Peristiwa ini dicatatkan berlaku pada 21 Disember 2001 hingga 29 Mac 2002.
- ii. Pada paras $Q_{90} = 9.71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, bilangan PK yang dicatatkan ialah sebanyak tujuh peristiwa manakala jumlah bilangan hari defisit keseluruhan sebanyak 408 hari (2%). Tempoh kemarau bagi setiap PK antara 46 hingga 129 hari dengan purata 68 hari. Tempoh terendah dicatatkan pada pertengahan tahun 1987 manakala tempoh tertinggi pada awal tahun 1987. Ulangan PK telah dikesan pada tahun 1987.
- iii. Bagi paras $Q_{80} = 12.91 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, bilangan peristiwa kemarau yang dicatatkan sebanyak 16 peristiwa dengan jumlah hari defisit sekitar 1023 hari (6%). Tempoh kemarau bagi setiap PK antara 46 hingga 122 hari dengan purata 73 hari. Tempoh terendah dicatatkan awal 1980 dan yang tertinggi dicatatkan pada Disember 1986 dan berlarutan hingga April 1987. Terdapat dua tahun menunjukkan ulangan PK seperti dicatatkan berlaku pada tahun 1987 dan 2002.
- iv. Bagi paras $Q_{70} = 16.27 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, bilangan PK yang dicatatkan sebanyak 25 peristiwa dengan jumlah hari defisit sekitar 1971 hari (15%). Tempoh kemarau bagi setiap PK antara 45 hingga 237 hari dengan purata 94 hari. Tempoh terendah dicatatkan pada Ogos 2004 dan Julai 2005 dan yang tertinggi dicatatkan pada Disember 1986 dan berlarutan hingga Ogos 1987. Terdapat 4 tahun menunjukkan ulangan PK seperti dicatatkan berlaku pada tahun 1981, 1987, 2002 dan 2005.

d. Jumlah Defisit Kemarau (DK)

Jumlah defisit keseluruhan yang dialami oleh stesen Dengkil adalah sebanyak $20,554 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Jumlah ini merupakan 3% daripada keseluruhan jumlah luahan yang mengalir sepanjang tempoh 1965 hingga 2013. Jumlah defisit kemarau yang terhasil adalah berbeza mengikut nilai PA yang diguna dan jumlah tersebut dipengaruhi oleh tempoh kejadian setiap peristiwa kemarau (PK). Ini dibuktikan dengan pekali regresi penentu $R^2 = 0.7583$ dan nilai korelasi Pearson $r = 0.93$ yang menunjukkan pertalian yang kuat.

- i. Bagi kemarau $Q_{70} = 16.27 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, jumlah defisit luahan keseluruhan terhadap 25 PK sebanyak $19904.17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ di mana jumlah ini merupakan 3.3% daripada keseluruhan jumlah luahan ($598,456.21 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) yang mengalir di stesen Dengkil. Jumlah defisit PK terendah dicatatkan pada tahun 2005 sebanyak $343.99 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ manakala jumlah tertinggi dicatatkan pada tahun 1987 iaitu sebanyak $2425.71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Purata jumlah defisit luahan sebanyak $796.17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.
- ii. Bagi kemarau Q_{80} , jumlah defisit luahan keseluruhan terhadap 16 PK sebanyak $9097.18 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ di mana jumlah ini merupakan 1.5% daripada keseluruhan jumlah luahan. Jumlah defisit PK terendah dicatatkan pada tahun 1999 sebanyak $387.20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ manakala jumlah tertinggi dicatatkan pada tahun 1987 iaitu $1073.22 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Purata jumlah defisit luahan sebanyak $568.57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.
- iii. Bagi kemarau Q_{90} , jumlah defisit luahan keseluruhan terhadap 7 PK sebanyak $2960.19 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ di mana jumlah ini merupakan 0.49% daripada keseluruhan jumlah luahan. Jumlah defisit luahan terendah dicatatkan pada tahun 1970 sebanyak $248.80 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ manakala jumlah tertinggi dicatatkan pada tahun 1987 iaitu $632.40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Purata jumlah defisit luahan sebanyak $422.88 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

- iv. Bagi kemarau Q₉₅, jumlah defisit luahan sebanyak 427.55 m³s⁻¹ di mana jumlah ini merupakan 0.07% daripada keseluruhan jumlah luahan.

Jadual 1 Peristiwa kemarau dan jumlah defisit bagi Stesen Dengkil, Lembangan Langat

Tarikh Kemarau		Q70		Q80		Q90		Q90		Q MIN (m ³ s ⁻¹)
Mula	Akhir	Defisit (m ³ s ⁻¹)	Tempoh (Hari)	Defisit (m ³ s ⁻¹)	Tempoh (Hari)	Defisit (m ³ s ⁻¹)	Tempoh (Hari)	Defisit (m ³ s ⁻¹)	Tempoh (Hari)	
23-Jan-70	31-Mar-70	444.66	67	403.00	63	248.80	51			3.00
30-Jun-72	22-Oct-72	1423.4 1	113							8.44
25-Feb-77	9-May-77	983.03	72							10.06
23-Jul-78	21-Oct-78	829.10	89	405.81	59	360.62	54			3.98
25-Dec-79	29-Feb-80	705.96	66	406.13	46					5.35
9-Jul-80	23-Sep-80	1007.1 0	74							8.45
28-Jun-81	6-Sep-81	812.32	70							8.85
26-Dec-81	12-Feb-82	554.83	48							8.17
19-Jan-83	22-Mar-83	786.26	62							9.44
28-Jul-85	2-Oct-85	619.12	66	505.73	58	417.35	49			5.78
3-Aug-86	29-Sep-86	455.95	57	411.46	54	364.08	49			5.38
16-Dec-86	13-Aug-87	2425.7 1	237	1073.2 2	122	632.40	80			5.68
				623.42	70	357.46	46			
25-May-90	22-Sep-90	1343.7 6	120	703.31	68					8.47
13-Jul-91	31-Aug-91	579.48	48							8.32
13-Jun-92	10-Aug-92	671.89	57	643.88	52					7.30
13-Jul-93	6-Sep-93	598.35	54							6.71
22-Jul-94	17-Sep-94	510.63	57	453.82	52					6.02
27-Aug-95	20-Oct-95	497.69	54	468.44	51					6.79
11-Dec-98	20-Feb-99	752.55	69	387.20	44					2.72
11-Jul-01	1-Oct-01	821.28	82	782.06	77					5.42
21-Dec-01	29-Mar-02	816.46	98	665.65	87	579.48	79	427.55	62	6.19
16-May-02	25-Aug-02	1090.3 4	100	754.57	70					6.59
2-Aug-04	16-Sep-04	420.82	45							5.04
6-Jan-05	26-Feb-05	409.49	51	409.49	50					4.89
31-May-05	15-Jul-05	343.99	45							4.51

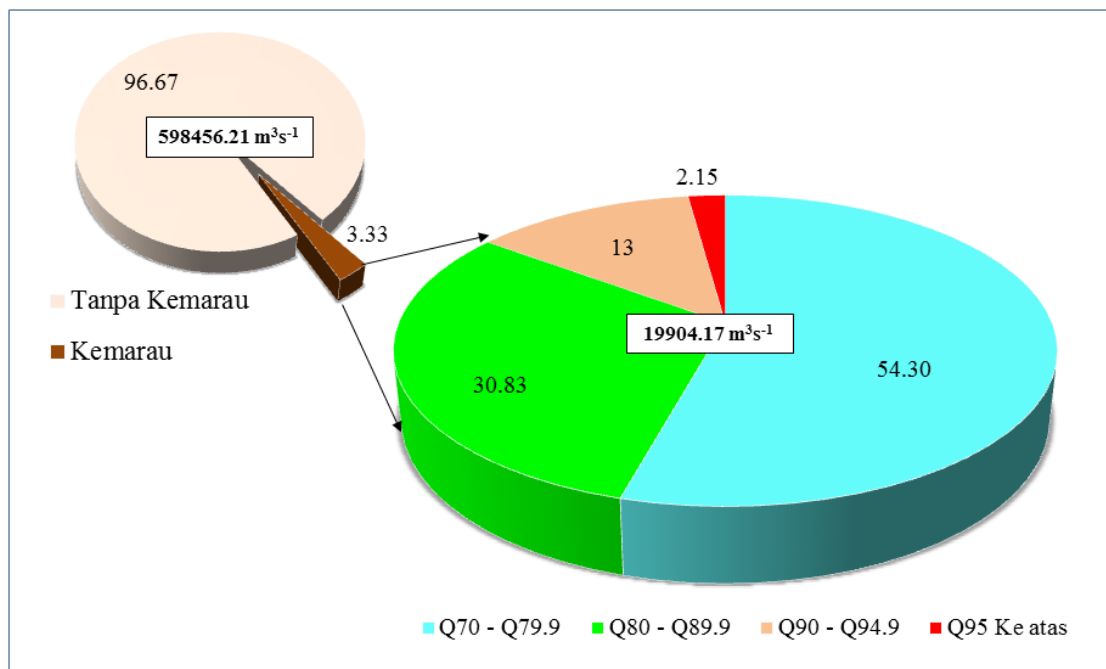
Perbincangan

Penggunaan nilai paras ambang (PA) yang berbeza telah memberi kesan kepada kehadiran PK. Hubungan PK dengan nilai PA yang digunakan adalah berkadar terus iaitu semakin tinggi nilai PA yang digunakan, semakin banyak PK yang terbentuk. Purata peningkatan jumlah PK bagi setiap nilai PA iaitu lapan kejadian. Peningkatan ini digambarkan pada semua episod peristiwa kemarau bagi setiap tahun yang dilanda kemarau kecuali episod kemarau 1986/87. Semasa episod kemarau 1986/87, penggunaan PA Q₈₀ = 12.91 m³s⁻¹ telah menghasilkan 2 PK berbanding PA PA Q₇₀ = 16.27 m³s⁻¹ yang menghasilkan 1 PK. Keadaan ini terjadi kerana tempoh kemarau yang panjang selama 237 hari

(16 Disember 1986 – 13 Ogos 1987). Apabila paras $Q_{80} = 12.91 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ digunakan, episod kemarau tersebut terbahagi kepada 2 PK di mana episod pertama berlaku selama 122 hari (18 Disember hingga 18 April 1987) dan episod kedua berlaku selama 68 hari (4 Jun hingga 11 Ogos 1987). Ini adalah disebabkan wujud peningkatan luahan kepada 19 April iaitu $16.05 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ sehingga melepasi paras $Q_{80} = 12.91 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ dan menurun semula kepada $11.99 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ pada 4 Jun (3 Jun = $13.34 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Begitu juga dengan tempoh bilangan hari kemarau. Perbezaan selama 1839 hari antara paras Q_{70} (1901 hari) dengan Q_{95} (62 hari) menunjukkan nilai PA mempengaruhi PK. Perkara ini turut sama digambarkan oleh bilangan hari maksimum bagi setiap PK di mana pada paras Q_{70} mencatatkan jumlah sebanyak 237 hari berbanding 62 hari bagi Q_{95} .

Bagi sifat jumlah defisit luahan, ia amat dipengaruhi oleh tempoh kejadian setiap peristiwa kemarau (PK). Sebagai contoh, tempoh kemarau yang panjang telah menghasilkan jumlah defisit yang tinggi seperti dicatatkan pada tahun 1986/87 (jumlah DK = $2425.71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; Tempoh = 237 hari) dan 1990 (jumlah DK = $1343.76 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; Tempoh = 120 hari). Begitu juga bagi tempoh kemarau yang pendek telah menghasilkan jumlah defisit yang rendah seperti dicatatkan pada tahun 1982 (jumlah DK = $554.83 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; Tempoh = 48 hari) dan tahun 2005 (jumlah DK = $420.82 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; Tempoh = 45 hari). Ini diperkukuhkan lagi dengan pekali regresi penentu $R^2 = 0.7583$ dan nilai korelasi Pearson $r = 0.93$ yang menunjukkan pertalian yang kuat. Faktor kehadiran jumlah luahan paling minimum dalam tempoh rekod, tidak banyak mempengaruhi jumlah defisit luahan. Ini diperkukuhkan dengan nilai pekali korelasi Pearson $r = 0.25$.

Dari segi darjah keparahan kemarau berdasarkan pengelasan persentil Q, daripada keseluruhan jumlah luahan ($598456.21 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) yang mengalir sepanjang 49 tahun (1965 hingga 2013), hanya 3.33% sahaja yang dikategorikan kemarau iaitu $19904.17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Daripada jumlah ini 54.30% dikategorikan sebagai Kemarau Biasa ($Q_{70} - Q_{79.9}$) iaitu 1.81% daripada keseluruhan luahan yang dicatatkan oleh 25 PK. 30.83% dikategorikan sebagai Kemarau Sederhana ($Q_{80} - Q_{89.9}$) di mana jumlah ini merupakan 0.42% daripada keseluruhan luahan yang dicatatkan oleh 16 PK. 12.72% dikategorikan Sederhana Parah ($Q_{90} - Q_{94.9}$) seperti dicatatkan oleh 7 PK di mana jumlah ini merupakan 0.42% daripada keseluruhan luahan. Selebihnya iaitu 2.15% yang dikategorikan Parah (Q_{95} ke atas) di mana jumlah ini merupakan 0.07% daripada keseluruhan luahan (Rajah 6).



Rajah 6 Peratus jumlah defisit mengikut tahapan kemarau

Berpandukan analisis ini, darjah keparahan defisit bekalan air sungai adalah masih dalam keadaan terkawal kerana jumlah defisit yang telah berlaku adalah terlalu rendah iaitu kurang daripada 5% daripada keseluruhan luahan lembangan Langat. Jika dilihat terhadap darjah keparahan, hanya 7 PK

yang dikategorikan Parah (sederhana parah dan parah) melanda lembangan Langat yang secara puratanya hanya melanda 0.14 kali setahun dalam tempoh 49 tahun.

Kesimpulan

Kemarau merupakan fenomena kekurangan air yang terjadi apabila jumlah bekalan air adalah berkurangan daripada paras normal. Pentafsiran yang pelbagai terhadap istilah normal telah menyebabkan banyak kaedah yang telah digunakan bagi menentukan sesuatu kejadian kemarau. Kaedah paras ambang (*threshold level method*) merupakan kaedah yang sangat popular dan banyak digunakan untuk menentukan kemarau. Penggunaan kaedah ini menjadikan sifat-sifat kemarau seperti bilangan peristiwa kemarau, tempoh defisit tahunan, bilangan hari bagi setiap peristiwa kemarau, jumlah defisit dapat ditafsirkan dengan lebih jelas. Menggunakan pelbagai paras PA mengikut persentil Q berdasarkan keluk tempoh alir sebagai paras asas sesuatu kemarau, membolehkan sesuatu tahapan keparahan kemarau dapat diterangkan. Pengelasan tahapan keparahan kemarau ini akan dapat memberi gambaran asas berkaitan tahap keparahan kemarau bagi sepanjang rekod luahan di lembangan Langat. Ini dapat membantu pihak-pihak yang berkepentingan dalam pengurusan sungai dan bekalan air di Malaysia.

Rujukan

- Abdul Samad, Shaharudin, H., Ahmad Fariz, I., & Abdul Hadi, H. S. (2006). *Perubahan persekitaran dan kemudahterancaman Lembangan Langat*. Bangi: Penerbit UKM.
- Allaby, M. (2003). *Droughts*. New York: Facts On File, Incorporated.
- Awass, A. (2009). *Hydrological drought analysis-occurrence, severity, risks: The case of Wabi Shebele River Basin, Ethiopia*. Universit^t at Siegen. Dimuat turun daripada <http://dokumentix.uni-siegen.de/opus/volltexte/2009/378/>.
- Barua, S. (2010). Drought assessment and forecasting using a nonlinear aggregated drought index. unpubl. Doctoral Dissertation: Victoria University.
- Birkel, C. (2005). *Temporal and spatial variability of drought indices in Costa Rica*. Master's thesis, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, Germany.
- Blumcnstock, G., Jr., (1942). Drought in the US analyzed by means of the theory of probability. U.S.D.A. *Tech. Bull.* 819, GPO, Washington, DC, 1942.
- Bonacci, O. (1993). Hydrological identification of drought. *Hydrological Processes*, 7, 249-262.
- Bradford, R. B. (2000). Drought events in Europe. Dalam J. V Vogt & F. Somma (eds.). *Drought and drought mitigation in Europe*. Netherlands: Springer-Science+Business Media, Bv.
- Bureau of Meteorology. (2006). Living with drought. Dimuat turun daripada <http://www.bom.gov.au/climate/drought/livedrought.html>.
- Byzedi, M., Siosemardeh, M., Rahimi, A., & Mohammadi, K. (2012). Analysis of hydrological drought on Kurdistan province. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(7), 255-259.
- Clausen, B., & C.P. Pearson. (1995). Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. *Journal of Hydrology*, 173, 111-130.
- Dracup, J. A., Lee, K. I. L. E., & Paulson, E. G. (1980a). On the statistical characteristics of drought events, *16*(2), 289-296.
- Dracup, J. A., Lee, K. S., & Paulson, E. G. (1980b). On the definition of droughts. *Water resources research*. doi:10.1029/WR016i002p00297.
- Fleig, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H., & Demuth, S. (2006). A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(4), 535-552.
- Griffiths, G. A. (1990). Rainfall deficits: Distribution of monthly runs. *Journal of Hydrology*, 115, 219-229.
- Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L. M., & Demuth, S. (2001). Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology*, 21, 317-333. doi:10.1002/joc.619.
- Kasperek, L. & Novicky, O. (2002). Hydrological drought studies in the wide context of climate variability. *International Association of Hydrological Sciences, Publication*, (274), 85-92.
- Keyantash, J. A., & Dracup, J. A. (2004). An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resources Research*, 40. doi:10.1029/2003WR002610.
- Lorenzo-Lacruz, J., Moran-Tejeda, E., Vicente-Serrano, S. M., & Lopez-Moreno, J. I. (2013). Streamflow droughts in the Iberian Peninsula between 1945 and 2005: Spatial and temporal patterns. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 119-134. doi:10.5194/hess-17-119-2013.

- Loukas, A., & Vasiliades, L. (2004). Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 719-731.
- Maneo, L.M. (2008). *Drought and climate change impacts on water resources: Management alternatives*. Universidad Politécnica de Madrid Tesis.
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.012.
- Nalbantis, I., & Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23, 881-897. doi:10.1007/s11269-008-9305-1
- Nguyen, T. D. (2006). *Coping with drought in the central highlands – Vietnam*. Technical University of Denmark.
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought* (Vol. 30). Washington, DC, USA: US Department of Commerce, Weather Bureau.
- Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovidis, I. (2009). *Coping with water scarcity: Addressing the challenges*. Springer.
- Rossi, G. (2011). *Drought risk for water supply systems based on low-flow regionalisation* (Doctoral dissertation, University of Florence).
- Shiau, J., Feng, S., & Nadarajah, S. (2007). Assessment of hydrological droughts for the Yellow River, China, using copulas, 2163(June), 2157–2163. doi:10.1002/hyp.
- Stahl, K., & Demuth, S. (1999). Linking streamflow drought to the occurrence of atmospheric circulation patterns. *Hydrological Sciences Journal*. doi:10.1080/02626669909492240.
- SYABAS. (2014, 25 Februari). Pengumuman pengagihan air berjadual di kawasan Hulu Langat, Kuala Langat dan Sepang ekoran penutupan loji rawatan air (LRA) Cheras Batu 11 dan Lra Bukit Tampoi. SYABAS. Dimuat turun daripada <http://www.syabas.com.my/press-release/pengumuman-pengagihan-air-berjadual-di-kawasan-hulu-langat-kuala-langat-dan-sepang-ekoran-penutupan-loji-rawatan-air-lra-cheras-batu-11-dan-lra-bukit-tampoi->.
- Tallaksen, L. M., & Hisdal, H. E. G. E. (1997). Regional analysis of extreme streamflow drought duration and deficit volume. *IAHS Publication*, 246, 141-150.
- Tallaksen, L. M., & Van Lanen, H. A. J. (2004). Introduction dalam L. M. Tallaksen & H. A. J. Van Lanen (eds.). *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater* (Vol. 48, p. 579). Elsevier Ltd.
- Tallaksen, L. M., Madsen, H., & Clausen, B. (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences Journal*, 42(1), 15–34.
- Van Loon, A. F. (2013). *On the propagation of drought. How climate and catchment characteristics influence hydrological drought development and recovery*. Wageningen University.
- Wilhite, D. A. (2000). Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. Dalam D. A. Wilhite (Ed.), *Drought: A Global Assessment* (pp. 3-18). London: Routledge Publishers.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: The drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 111–120. doi:10.1080/02508068508686328.
- Wilhite, D. A., Hayes, M. J., Knutson, C., & Smith, K. H. (2000). Planning for drought- moving from crisis to risk management. *Journal of the American Water Resources Association*, 36(4), 697-710.
- Wilhite, D. A., Svoboda, M. D., & Hayes, M. J. (2007). Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, 21, 763–774. doi:10.1007/s11269-006-9076-5.
- Zelenhasic, E., & Salvai, A. (1987). A method of streamflow drought analysis. *Water Resources Research*, 23(1), 156-168.