

Keparahan Kemarau Hidrologi di Lembangan Sungai Lui, Hulu Langat Selangor

Severity of Hydrological Drought in the Lui River Basin, Hulu Langat, Selangor

Nordin Sakke^{1*}, Hamirdin Ithnin², Azali Saudi³, Mohammad Tahir Mapa¹

¹Program Geografi, Fakulti Kemanusiaan, Seni dan Warisan, Universiti Malaysia Sabah,
88400 Kota Kinabalu, Sabah

²Jabatan Geografi & Alam Sekitar, Fakulti Sains Kemanusiaan, Universiti Pendidikan Sultan Idris,
35900 Tanjung Malim, Perak

³Fakulti Komputeran dan Informatik, Universiti Malaysia Sabah, 88400 Kota Kinabalu, Sabah.

*e-mel: dinums@ums.edu.my

Abstrak

Kemarau hidrologi merupakan fenomena kekurangan air yang ekstrem yang selalunya memberikan impak ke atas kehidupan normal manusia. Impak kemarau ini amat bergantung pada tahap keparahan sesuatu peristiwa kemarau. Tahap keparahan kejadian kemarau hidrologi boleh digambarkan melalui tempoh atau jumlah defisit kemarau. Tempoh kemarau yang panjang dan jumlah defisit air yang tinggi merupakan petunjuk penting bagi keekstreman kemarau. Artikel ini mengkaji tahap keparahan kemarau di lembangan Sungai Lui, Hulu Langat, Selangor. Dalam konteks kajian ini, nilai lampauan (persentil - Q) daripada keluk tempoh alir (KTA) digunakan untuk menentukan peristiwa kemarau. Tempoh 48 tahun data luahan bagi stesen Lui digunakan bagi menentukan nilai Q. Dengan menggunakan persentil $Q_{70} = 1.15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ sebagai paras ambang (PA) asas kemarau yang diperoleh daripada KTA, didapati tempoh dan jumlah defisit luahan yang terhasil adalah berbeza mengikut kelas keparahan kemarau. Berpandukan kepada analisis, tempoh kumulatif kemarau yang melanda ialah selama 2061 hari pada PAQ_{70} , 1742 hari pada PAQ_{80} , 542 hari pada PAQ_{90} dan 204 hari pada PAQ_{95} . Tempoh peristiwa kemarau terpanjang direkodkan pada tahun 1989 iaitu 250 hari. Bagi jumlah defisit kumulatif pula, PAQ_{70} mencatatkan jumlah sebanyak $1183 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, Q_{80} sebanyak $598 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, Q_{90} sebanyak $116 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ sebanyak $148 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Daripada jumlah ini, 49.5 % dikategorikan sebagai Kemarau Biasa ($Q_{70} - Q_{79.9}$), 40.7 % dikategorikan sebagai Agak Kemarau ($Q_{80} - Q_{89.9}$), 7.3 % dikategorikan Kemarau Sederhana ($Q_{90} - Q_{94.9}$) dan selebihnya iaitu 2.5 % dikategorikan Parah (Q_{95} ke atas).

Kata Kunci kemarau hidrologi, keparahan kemarau, tempoh kemarau, defisit kemarau

Abstract

Hydrological drought is a phenomenon of extreme water shortage that have an impact on human life. The impact of the drought depends on the severity of a drought. The severity of hydrological drought events can be described through a period of drought or total deficit. Long periods of drought and high amount of water deficit are important indicators of the extreme drought. Therefore, this article attempts to look at the severity of the drought in Lui River, Hulu Langat, Selangor. In the context of this study, the overrun (percentile - Q) than the flow duration curve (FDC) is used to determine the drought. 48 years of discharge data for Lui station was used to determine the value of Q. Using percentile $Q_{70} = 1.15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ as the threshold level (TL) drought base obtained from FDC, available discharge duration and the amount of the deficit resulting vary according to grade of the drought severity. Based on the analysis, the cumulative period of drought was 2061 days at PAQ_{70} , 1742 days at PAQ_{80} , 542 days at PAQ_{90} and 204 days at PAQ_{95} . The longest period of drought events recorded in 1989, namely 250 days. In terms of cumulative deficit, a total of $1183 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ recorded at PAQ_{70} , $598 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ at PAQ_{80} , $116 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ at PAQ_{90} and $30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ at PAQ_{95} . The highest deficit was recorded in 2001 ($148 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Form these figures, 49.5% were categorized as Normal Drought ($Q_{70} - Q_{79.9}$), 40.7% are categorized as Slight Drought ($Q_{80} - Q_{89.9}$), 7.3% were categorized Moderate Drought ($Q_{90} - Q_{94.9}$) and the remaining 2.5% is classified Severe (Q_{95} and above).

Keywords hydrological drought, drought severity, drought duration, drought deficit

PENGENALAN

Kemarau merupakan fenomena global yang melanda semua kawasan 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 di fahami (Wilhite, Svoboda, & Hayes, 2007). Ia adalah kejadian anomali yang bersifat sementara dan ia berbeza dengan beberapa fenomena ketidakcukupan air yang lain seperti kegersangan, disertifikasi dan kekurangan air. 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, & Iacovidiers, 2009). Hubungan dan perbezaan keempat-empat fenomena ini dapat dilihat melalui rajah matriks di bawah (Rajah 1).

	Fenomena Semulajadi	Fenomena Gangguan Manusia
Kekal	<p>Kegersangan (<i>Aridity</i>) Sebab : Rendah curahan hujan Akibat : Kebolehdapatan air rendah</p>	<p>Penggurunan (<i>Desertification</i>) Sebab : Kualiti Tanah menyusut Akibat : Kebolehdapatan air berkurangan</p>
Sementara	<p>Kemarau (<i>Drought</i>) Sebab : Curahan hujan berkurangan Akibat : Kebolehdapatan berkurangan</p>	<p>Kekurangan Air (<i>Water Shortage</i>) Sebab : Kualiti air menyusut Akibat : Kebolehdapatan air berkurangan</p>

Rajah 1 Kekurangan air hasil persekitaran dan pengaruh manusia

Sumber: Diubahsuai daripada Pereira et al. (2009)

Kemarau dikategorikan sebagai bencana semula jadi yang paling mendatangkan kerosakan terutamanya ke atas ekonomi, masalah sosial dan impak ke atas ekologi. Secara umumnya Byun dan Wilhite (1999) menyatakan antara tumpuan penting dalam penyelidikan kemarau ialah untuk memahami kekerapan dan keparahan yang mendatangkan kesan kepada kehidupan manusia yang melibatkan kos dan kerugian dalam konteks ekonomi, sosial atau alam sekitar sama ada secara langsung atau tidak langsung. Kebanyakan impak kemarau adalah dikaitkan dengan kemarau hidrologi kerana ekosistem dan masyarakat manusia amat bergantung kepada air yang diurus-simpan oleh simpanan-simpanan lembangan seperti lembapan tanah, akuifer, tasik dan sungai (Van Loon & Laha, 2014) khususnya di kawasan yang air sungainya digunakan untuk tujuan industri, pertanian dan domestik (Stefan, Ghioca, Rambu, & Boroneant, 2004). Kajian terhadap tahap keparahan kemarau adalah penting kerana ia penunjuk penting kepada impak kemarau (Hayes, Svoboda, Wall, Widhalm, 2010). Terdapat pelbagai kaedah yang digunakan untuk menunjukkan tahap keparahan kemarau hidrologi. Antaranya melalui petunjuk-petunjuk terpiawai seperti Indeks Kemarau Hidrologi Palmer (Palmer, 1965), Indeks Kerpasan Berpiawai (Mckee, Doesken, & Kleist, 1993), Indeks Air Larian Berpiawai (Shukla & Wood, 2008), Indeks Bekalan Air Permukaan (Shafer & Dezman, 1982), Indeks Kemarau Aliran Sungai (Nalbantis, 2008) dan Indeks Aliran Sungai Berpiawai (Lorenzo-Lacruz, Moran-Tejeda, Vicente-Serrano, & Lopez-Moreno, 2013). Petunjuk-petunjuk ini semakin mendapat tempat dalam kajian saintifik berkaitan kemarau. Ia merupakan pernyataan nilai sisihan piawai daripada nilai purata.

Selain daripada itu, tahap keparahan sesuatu peristiwa kemarau hidrologi boleh juga digambarkan melalui tempoh berlakunya kemarau dalam satu-satu episod kemarau dan jumlah defisit air yang dialami

(Van Loon & Laaha, 2014). Tallaksen dan Hisdal (1997) menyatakan taburan tempoh kemarau banyak dipengaruhi oleh cuaca manakala jumlah defisit banyak dipengaruhi oleh sifat-sifat lembangan. Tempoh dan jumlah defisit merupakan elemen penting dan tahap keparahan adalah bergantung kepada kemampuan pengguna air tertentu bertahan tanpa air. Di Bali, sekiranya hujan tidak turun dalam tempoh 6 hari berturutan akan dikira kemarau tetapi bagi di Libya, kemarau akan berlaku hanya apabila hujan tidak turun selama 2 tahun (Hudson & Hazen, 1964). Perbezaan tafsiran ini jelas menunjukkan bahawa tahap ketahanan manusia berbeza mengikut tempoh dan impaknya kepada pengguna juga berbeza. Semakin lama tempoh kemarau maka semakin parah kemarau yang dialami. Begitu juga dengan jumlah defisit dimana semakin tinggi jumlah kekurangan air yang dialami semakin parah kemarau yang berlaku.

Malaysia merupakan negara yang mewah air (Lai, Chan, & Nor Azazi, 2013) namun tidak terlepas dengan ancaman kemarau. Antara kawasan yang telah mengalami kemarau ialah kawasan lembah Kelang-Selangor, Kuala Lumpur Wilayah Persekutuan (Hamirdin, 2008), Pulau Pinang (Chan, 2004) dan beberapa tempat lain di Kedah, Kelantan, Sarawak, dan Sabah (Ahmad Jamalluddin & Low, 2004). Peristiwa kemarau di Malaysia telah direkodkan seawal tahun 1951 di lembangan Sungai Langat (Mohd Ekhwan, 2000 dalam Hamirdin, 2008) kemudian melanda Kedah dan Perlis pada hujung 1970an dan awal 1980 yang menjejaskan ribuan pengusaha padi (Chan, 2004). Fenomena ini berterusan melanda dengan beberapa kejadian krisis air seperti di Melaka pada tahun 1991 (Hamirdin, 2012) diikuti dengan krisis air lembah Klang pada tahun 1997-98 yang menjejaskan lebih 2 juta penduduk di lembah Kelang (Mohamad Suhaily Yusri, Zainudin, Mohmadisa, Nasir & Yazid, 2014), kekurangan air di Hulu Langat Selangor pada tahun 2002, Seremban, Negeri Sembilan pada tahun 2005 dan Labuan dan Sabah pada tahun 2010 (Hamirdin, 2012). Impak kejadian kemarau ini telah menyebabkan paras air di beberapa empangan air di Semenanjung Malaysia menjunam ke paras kritikal (Jamaluddin, Mohd Ekhwan, Noorazuan, & Kadaruddin, 2003) dan yang lebih parah, ada empangan menjadi kering seperti yang berlaku di empangan Durian Tunggal, Melaka pada tahun 1991 (Hamirdin, 2012). Kesan daripada berlaku kemarau telah menyebabkan kerugian yang besar seperti yang berlaku pada episod kemarau Kedah dan Perlis yang memusnahkan kawasan sawah padi (Chan, 2004) dan kerugian jutaan ringgit yang dialami oleh kilang memproses methanol di Labuan pada tahun 2010 (Hamirdin & Siti Nazura, 2012). Dalam konteks Selangor, kemarau telah melanda sebanyak 22 tahun dalam tempoh 1965-2013 (Nordin, Hamirdin & Mohamad Suhaily Yusri, 2015). Episod kemarau ini merupakan ancaman ketersampaian bekalan air bersih terawat kepada manusia.

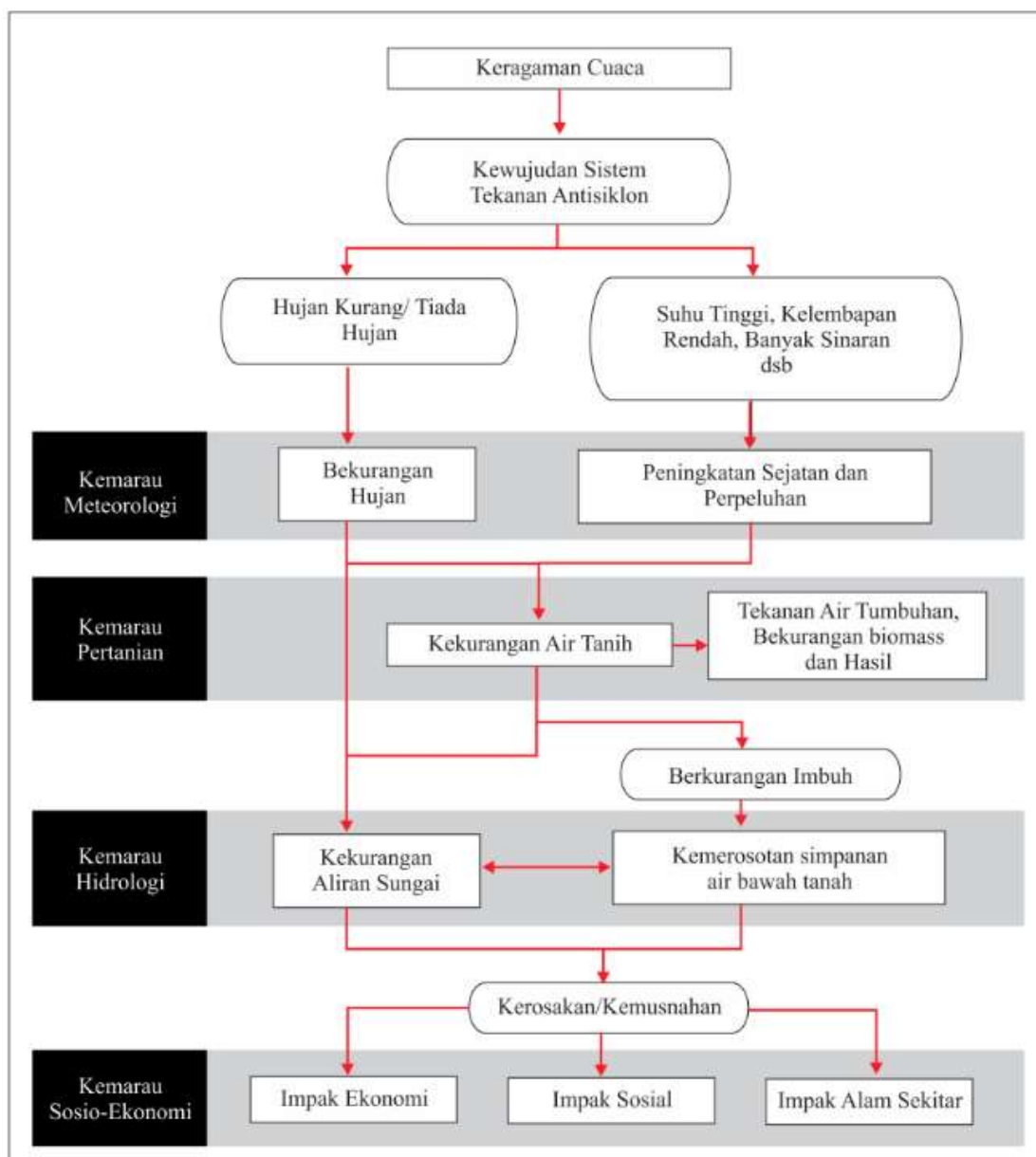
DEFINISI DAN KONSEP KEMARAU

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 dan Glantz, (1985); Allaby, (2003) menyatakan bahawa terdapat lebih daripada 150 definisi berkaitan kemarau telah diterbitkan yang setiap satunya dikaitkan cabang sains masing-masing.

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 (i) 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 dan pergerakan masuk air ke bawah tanah. Jika hujan ini terus berkurangan, ia boleh membawa kepada (ii) air tanah akan defisit dengan ketara yang 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 empangan, 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, Kemarau Hidrologi, Kemarau Pertanian/Ekologi, Kemarau Sosioekonomi. (Dracup, Lee, & Paulson, 1980; Mishra & Singh, 2010; Wilhite & 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 empangan 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 manusia. Kemarau ini mula memberi kesan kepada bekalan dan permintaan produk ekonomi seperti air, pengeluaran ikan, penjana kuasa hidroelektrik dan lain-lain (Barua, 2010).



Rajah 2 Pengelasan kemarau mengikut peringkat kitaran hidrologi

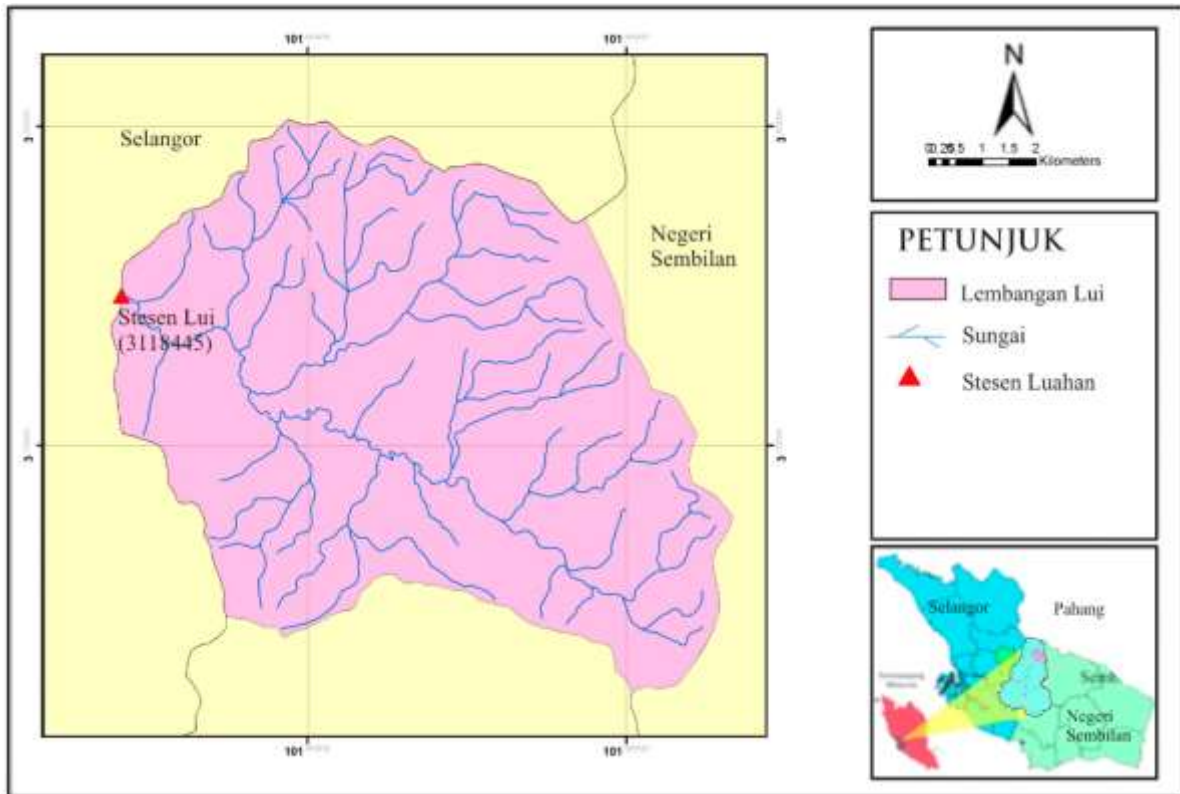
Sumber: Diubahsuai daripada Wilhite dan Glantz (1985)

LOKASI DAN METOD KAJIAN

Kawasan Kajian

Lembangan Sungai Langat merupakan salah satu wilayah air terpenting di negeri Selangor. Lembangan ini terletak bersebelahan dengan lembah Klang yang merupakan kawasan perbandaran termaju di mana Bandaraya Kuala Lumpur terletak di dalamnya. Wilayah air ini berperanan penting kerana menjadi tonggak pembekal air bersih di bahagian selatan negeri Selangor (DID, 2011) dan membekalkan air kepada dua pertiga negeri Selangor (Hafizan, Sharifuddin, Ahmad Zaharin, Mohd Kamil, Mohd Armi & Mazlin, 2010). Lembangan Sungai Lui terletak di hulu lembangan Langat pada kedudukan geografi $3^{\circ} 07' - 3^{\circ} 12' \text{ U}$, dan $101^{\circ} 52' - 101^{\circ} 58' \text{ T}$ dengan keluasan sekitar 68.25 km^2 dan panjang lembangan sekitar 11.5 km (Rajah 3). Purata ketinggian kawasan ini daripada aras laut sekitar 354 m di mana altitud tertinggi dicatatkan pada ketinggian 1207 m manakala kawasan terendah dicatatkan sekitar 61 m . Purata

hujan tahunan yang dicatatkan pada stesen curahan hujan Kg. Lui (No. Stesen 3118102) iaitu sekitar 2188.3 mm. Dari sudut taburan guna tanah, lembangan Lui diliputi oleh 80.35 % kawasan hutan, 9.85 % getah dan 2.6 % kebun. Selebihnya diliputi oleh kawasan tanaman campuran, kawasan pekan dan perlombongan (Ebrahimpour, Balasundram, Talib, Anuar, & Memarian, 2011).



Rajah 3 Lokasi kawasan kajian

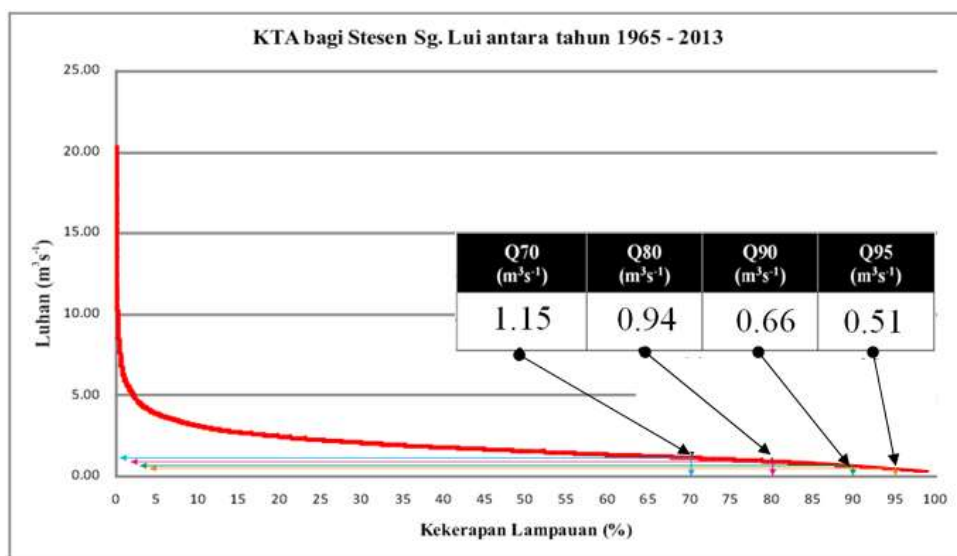
Penentuan Peristiwa Kemarau Hidrologi

Terdapat dua parameter penting dalam menentukan sesuatu peristiwa kemarau iaitu paras ambang (PA) dan tempoh masa di bawah PA. Kaedah paras ambang ini adalah berpandukan kepada teori larian atau teori pintasan dan ia paling banyak digunakan dalam analisis kemarau. Kaedah ini pertama kali dibangunkan oleh Rice (1945) dan dikembang-baikkannya oleh Cramer dan Leadbetter (1967) (Hisdal, Tallaksen, Stahl, Zaidman, & Gustard, 2000). Malah Yevjevich (1967) antara salah seorang terawal yang mengaplikasikan kaedah ini terhadap kemarau. Dengan menggunakan keluk siri masa penawaran-tolak-permintaan, kemarau dikatakan berlaku apabila garisan permintaan air (D_t) berada di atas garisan penawaran bekalan air (S_t) (Yevjevich, 1983). Namun dalam konteks statistik, keluk penawaran-tolak-permintaan adalah kompleks kerana sifat permintaan (D_t) yang dijadikan nilai paras ambang sentiasa berubah. Oleh itu dicadangkan agar nilai paras ambang yang konstan digunakan bagi menggantikan nilai D_t yang sentiasa berubah. Dengan menggunakan nilai ambang yang konstan, membolehkan peristiwa kemarau dapat ditentukan dan didefinisikan. Peristiwa kemarau merupakan satu kelompok nilai di bawah paras nilai ambang (Q_0) yang berurutan / tidak terganggu dalam siri penawaran-tolak-permintaan, $Y_t = S_t - D_t$ (Fleig, Tallaksen, Hisdal, & Demuth, 2006).

Dalam beberapa kajian lepas, beberapa kaedah telah digunakan untuk menentukan nilai paras ambang. Antaranya penggunaan nilai purata (Bonacci, 1993), nilai median (Griffiths, 1990), purata dan 75% daripada purata (Clausen & Pearson, 1995), nilai purata tolak 1 sisihan piawai (Maneo Lain, 2008) dan nilai lampauan peratusan terendah yang diperolehi daripada keluk tempoh alir (Zelenhasic & Salvai,

1987; Hisdal, & Tallaksen, 2000). Dalam kajian ini, penentuan peristiwa kemarau melalui pendekatan paras ambang (PA). Nilai paras ambang/normal merujuk satu nilai yang konstan yang dapat memisahkan antara kejadian kemarau atau tidak. Nilai persentil diperoleh daripada keluk-tempoh-alir (KTA) di mana kaedah ini merupakan kaedah yang paling banyak digunakan dalam kajian kemarau (WMO, 2008). Terdapat pelbagai nilai persentil yang telah digunakan dalam kajian-kajian lepas iaitu antara Q70 – Q95 seperti dalam kajian Hisdal dan Tallaksen (2003); Byzedi dan Saghafian (2009); Fleig, Tallaksen, Hisdal, & Hannah, (2011); Waluyo (2011); Van Loon dan Van Lanen (2012); Van Huijgevoort, Hazenberg, Van Lanen, & Uijlenhoet, (2012) serta Wada, van Beek dan Bierkens (2012). PA asas kemarau yang digunakan dalam kajian ini iaitu persentil Q70 seperti digunakan oleh Byzedi dan Saghafian (2009) dan tempoh masa 45 hari berterusan di bawah PA yang telah digunakan oleh Nordin, et al. (2015).

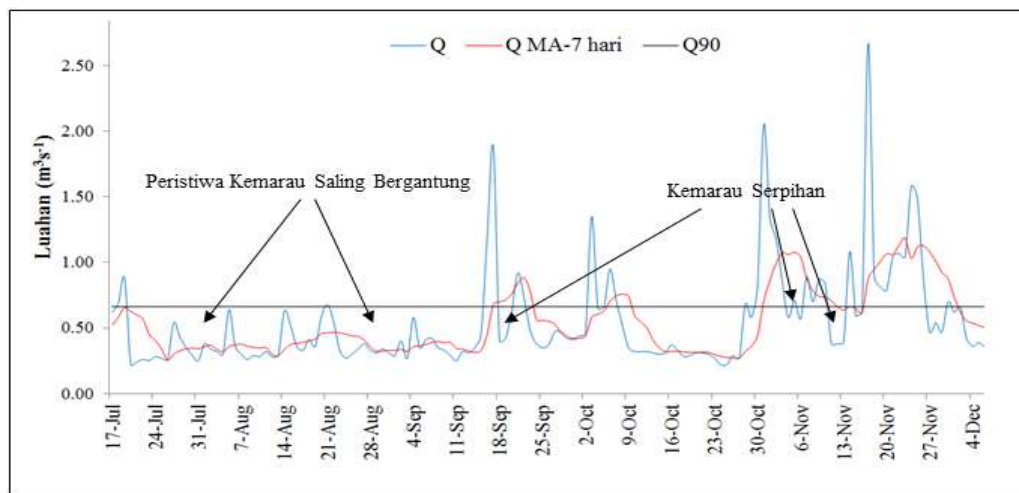
Kaedah yang paling sesuai bagi mendapatkan nilai persentil berpandukan keluk KTA ialah dengan menggunakan plot kebarangkalian log-normal (Smakhtin, 2001). Dalam perisian Microsoft Excel 2013, keluk KTA dapat dihasilkan dengan menyusun semula siri masa luahan sungai dalam bentuk nilai aliran siri masa mengikut urutan mengecil. Dua lajur tambahan dibentuk iaitu lajur urutan, i dan kekerapan lampauan (ef). Rank, i merujuk kepada kedudukan nilai luahan mengikut urutan membesar 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 dipetakan, nilai PA jumlah luahan dapat ditentukan menggunakan paras persentil Q (kekerapan lampauan) yang dipilih (Rajah 4).



Rajah 4 Nilai Paras Ambang (m^3s^{-1}) menggunakan kaedah KTA bagi Stesen Lui tempoh tahun 1965-2013

Data luahan bagi stesen hidrometri Sg. Lui (No. stesen: 3118445) diperoleh daripada Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) Malaysia, 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 diperoleh ini merupakan data luahan harian yang mencakupi tempoh antara 49 tahun iaitu seawal 1 Julai 1965 dan berakhir pada 31 Disember 2013 yang mencakupi bilangan cerapan sebanyak 17897 hari. 12% data harian yang hilang telah diisi (data tahun 1998 telah dikeluarkan daripada analisis) melalui proses rekonstruksi dan penapisan dengan menggunakan kaedah perkadaran semula, interpolasi mudah, regresi linear, purata aritmetik. Penggunaan persentil Q70 sebagai paras ambang dan tempoh 45 hari sebagai had minimum kemarau telah mewujudkan peristiwa kemarau saling bergantung dan kemarau serpihan. Dalam artikel ini, kaedah purata

bergerak 7 hari (MA-7 hari) digabungkan dengan kaedah masa antara peristiwa 7 hari (IT-7 hari) telah digunakan. Melalui kaedah ini, peristiwa kemarau yang saling bergantung akan tergabung menjadi satu peristiwa kemarau tidak bergantung. Peristiwa kemarau yang saling bergantung merujuk kepada peristiwa kemarau yang berlaku yang hanya dipisahkan oleh satu tempoh yang pendek dengan peristiwa kemarau yang lain. Masalah ini berlaku semasa tempoh aliran rendah yang panjang di mana terdapat nilai luahan yang berada di atas paras nilai ambang yang membahagi-bahagikan tempoh aliran rendah kepada beberapa peristiwa kemarau (Rajah 5). Selain itu kemarau serpihan akan tersingkir atau tergabung dengan peristiwa kemarau individu secara automatik. Kemarau serpihan merupakan peristiwa kemarau yang mempunyai tempoh yang pendek dan jumlah defisit yang kecil. Proses ini dilakukan dalam perisian Microsoft Excel 2013 dengan bantuan bahasa Macro.



Rajah 5 Kemarau saling bergantung dan kemarau serpihan pada tahun 2001 bagi Stesen Lui

Penentuan Tahap Keparahan

Sifat-sifat sesuatu peristiwa kemarau dapat ditentukan hasil daripada penggunaan nilai PA. Tahap keparahan dapat dijelaskan menggunakan sifat tempoh kejadian dan jumlah defisit air yang dialami. Dalam konteks tempoh, tahap keparahan dilihat berdasarkan tempoh maksimum tahunan (AMD) dan tempoh kumulatif tahunan (ACD) seperti digunakan oleh Hisdal, Stahl, Tallaksen, dan Demuth, (2001) dan Birkel (2005). Manakala tahap keparahan melalui pendekatan defisit, defisit maksimum tahunan (AMDV) dan jumlah kumulatif defisit tahunan (ACDV) yang telah digunakan Zelenhasic dan Salvai (1987), Hisdal et al. (2001) dan Birkel (2005). Sifat keparahan AMD, ACD, AMDV dan ACDV ditentukan berdasarkan bilangan tahun di mana sesuatu peristiwa kemarau (tempoh dan defisit) mempunyai nilai maksimum melebihi paras purata tahunan rekod. Selain itu tahap keparahan jumlah defisit dapat dijelaskan berdasarkan nilai persentil Q dibahagikan kepada 4 kelas iaitu $Q_{70} - Q_{79.9}$ – Kemarau Biasa, $Q_{80} - Q_{89.9}$ – Agak Parah, $Q_{90} - Q_{94.9}$ – Sederhana Parah dan Q_{95} ke atas - Parah. Pendekatan ini adalah hasil gabungan kajian Waluyo (2011) serta Byzedi dan Saghafian (2009).

ANALISIS KAJIAN DAN PERBINCANGAN

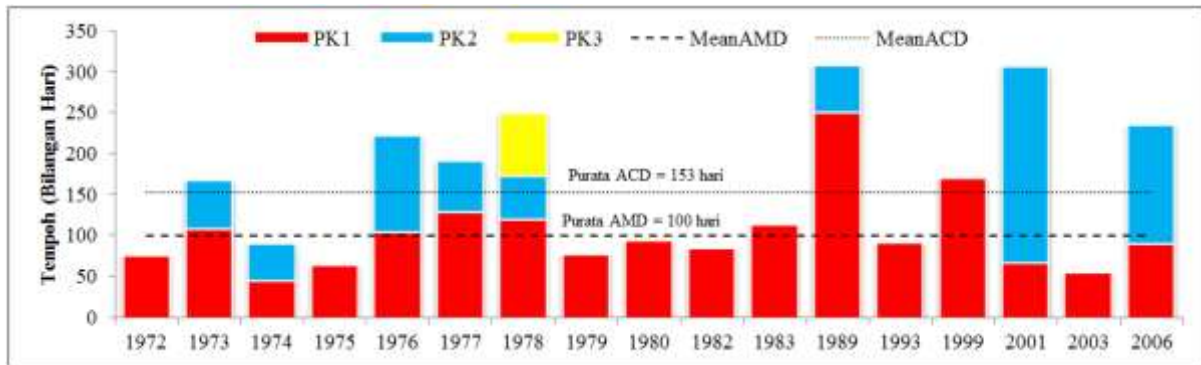
Bilangan Tahun dan Tempoh Kemarau

Bilangan tahun yang telah dilanda kemarau di stesen Lui sekitar 17 tahun kemarau (TK) dengan 26 peristiwa kemarau (PK) telah dicatatkan berlaku seperti ditunjukkan dalam Jadual 1. Jumlah tahun yang dilanda kemarau ini meliputi 35.4% daripada keseluruhan bilangan tahun cerapan. Bilangan PK dilihat

melebihi jumlah tahun kemarau (TK) yang melanda. Perbezaan jumlah ini adalah disebabkan oleh wujud ulangan kehadiran PK dalam TK seperti dicatatkan pada tahun 1973, 1974, 1976, 1977, 1978, 1989, 2001 dan 2006. Tahun 1978 mencatatkan ulangan tertinggi iaitu sebanyak tiga kali. Tempoh kemarau yang dialami sepanjang tempoh rekod selama 2601 hari di mana jumlah ini merupakan 14.5% daripada bilangan hari keseluruhan tempoh rekod. Tempoh maksimum tahunan (AMD) yang dicatatkan pada PA Q₇₀ antara 45 – 250 hari dengan purata sekitar 100 hari. Apa yang diperhatikan ialah 52.9% daripada TK mencatatkan AMD melebihi tempoh purata. Manakala tempoh kumulatif tahunan (ACD) yang dicatatkan antara 56 -308 hari dengan purata selama 153 hari. Apa yang turut diperhatikan ialah 47.1% daripada TK mencatatkan tempoh ACD melebihi paras purata. Ini menunjukkan bahawa bilangan tahun yang dilanda kemarau yang melebihi paras purata ACD dan AMD dalam lingkungan sekitar 50% di mana panjang kemarau yang dialami dua kali ganda daripada tempoh asas kemarau (45 hari) yang digunakan. Kebanyakan tempoh melebihi paras purata ini berlaku pada tahun 1973, 1976, 1977, 1978, 1983, 1989, 1999, 2001 dan 2006 (Rajah 6).

Jadual 1 Tempoh (hari) dan jumlah defisit (m³/s) bagi setiap peristiwa kemarau di stesen Lui bagi PAQ₇₀

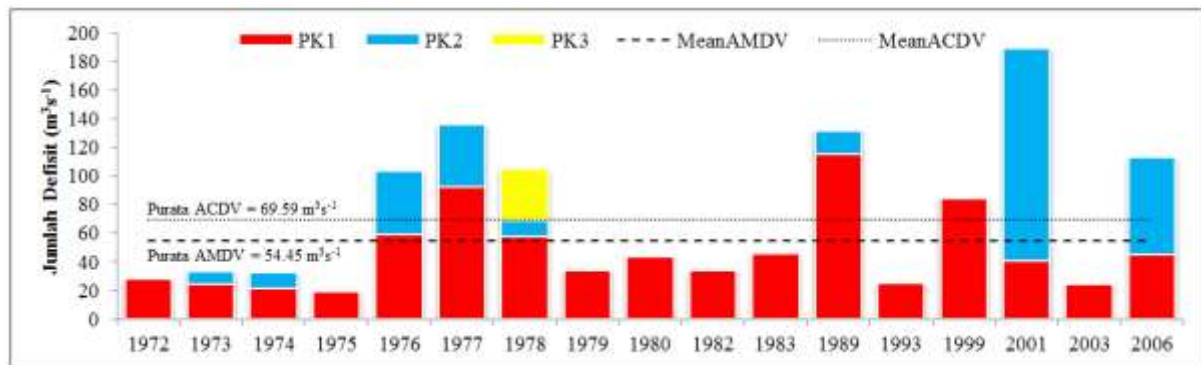
TAHUN	MULA	TAMAT	DEFISIT	TEMPOH	DEFISIT/ TEMPOH
1972	26-Jun-72	10-Sep-72	27.80	76	0.37
1973	3-Jan-73	21-Apr-73	24.23	108	0.22
1973	4-Jul-73	2-Sep-73	8.84	60	0.15
1974	19-Mar-74	3-May-74	21.55	45	0.48
1974	28-May-74	12-Jul-74	11.21	45	0.25
1975	22-Jun-75	26-Aug-75	19.18	65	0.30
1976	2-Jan-76	16-Apr-76	58.96	105	0.56
1976	16-Jun-76	11-Oct-76	44.32	117	0.38
1977	19-Jan-77	28-May-77	92.62	129	0.72
1977	25-Jun-77	26-Aug-77	43.47	62	0.70
1978	6-Dec-77	5-Apr-78	57.92	120	0.48
1978	31-May-78	23-Jul-78	10.53	53	0.20
1978	3-Aug-78	18-Oct-78	36.52	76	0.48
1979	4-Dec-78	20-Feb-79	34.38	78	0.44
1980	16-Dec-79	20-Mar-80	43.85	95	0.46
1982	9-Jan-82	4-Apr-82	34.28	85	0.40
1983	17-Jan-83	11-May-83	45.70	114	0.40
1989	2-Jan-89	9-Sep-89	115.14	250	0.46
1989	6-Nov-89	3-Jan-90	16.39	58	0.28
1993	9-Jan-93	11-Apr-93	25.21	92	0.27
1999	8-Apr-99	26-Sep-99	84.13	171	0.49
2001	2-Feb-01	10-Apr-01	40.90	67	0.61
2001	9-May-01	3-Jan-02	148.33	239	0.62
2003	4-Jan-03	1-Mar-03	24.37	56	0.44
2006	9-Feb-06	11-May-06	45.21	91	0.50
2006	23-May-06	14-Oct-06	68.00	144	0.47



Rajah 4 Tempoh kemarau di stesen Lui

Jumlah Defisit dan Tahap Keperahan Kemarau

Jumlah keseluruhan defisit yang dialami di stesen Lui sepanjang tempoh cerapan sebanyak 1183.02 m^3s^{-1} di mana jumlah ini merupakan 3.7% daripada jumlah keseluruhan jumlah luahan sepanjang tempoh rekod. Defisit maksimum tahunan (AMDV) yang dicatatkan pada PA Q₇₀ antara 19.18 -148.33 m^3s^{-1} dengan purata sekitar 54.45 m^3s^{-1} . Manakala jumlah kumulatif defisit tahunan (ACDV) yang dicatatkan antara 19.18 - 189.24 m^3s^{-1} dengan purata sebanyak 69.59 m^3s^{-1} . Apa yang diperhatikan ialah 41.2% daripada TK mencatatkan AMDV dan ACDV melebihi paras purata. Kebanyakan jumlah defisit ACDV yang melebihi paras purata berlaku pada tahun 1976, 1977, 1978, 1989, 1999, 2001 dan 2006 (Rajah 7)



Rajah 5 Jumlah defisit kemarau yang dialami di stesen Lui

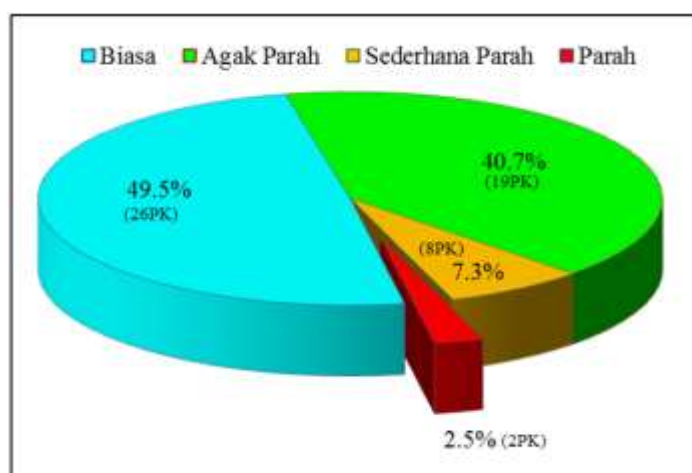
PERBINCANGAN

Penentuan nilai paras ambang adalah sangat penting dalam menjelaskan kemarau. Penggunaan PA yang berbeza juga akan menghasilkan sifat-sifat yang berbeza. Pada PAQ₇₀ bilangan tahun yang dilanda kemarau iaitu 17 tahun. Bilangan ini merupakan 35.4% daripada bilangan tahun dalam tempoh rekod di mana purata kekerapan ulangan adalah dalam selangan tiga tahun sekali. Namun pada paras PAQ₈₀, peratusan menurun kepada 27.1% dengan kekerapan selangan kejadian empat tahun sekali. Pada PAQ₉₀ jumlah tahun kemarau sekitar 14.6% dengan selangan kejadian 7 tahun dan pada PA₉₅ sekitar 4.2% dengan selangan kejadian 24 tahun. Ini menunjukkan bahawa penggunaan PA yang berbeza akan membuahkan sifat-sifat kemarau dan tahap keparahan yang bebeza. Perbezaan keparahan ini juga dapat digambarkan melalui sifat tempoh dan jumlah defisit. Pada paras PAQ₇₀, tempoh kemarau yang dialami di stesen Lui selama 2601 hari dan tempoh ini agak panjang jika dibandingkan PAQ₉₅ iaitu selama 204 hari. Begitu juga dengan defisit kemarau di mana jumlah defisit yang dialami pada paras PAQ₇₀ adalah sebanyak 1183 m^3s^{-1} berbanding 30 m^3s^{-1} bagi PAQ₉₅. Tahun-tahun kemarau yang ditunjukkan berkait

dengan kejadian el-nino di mana hampir 60% tahun kemarau berlaku semasa el-nino pada tahun 1972, 1976-1980, 1982-1983, 1993, 2003 dan 2006.

Tempoh kemarau sangat berkait rapat dengan jumlah defisit yang berlaku. Sesuatu peristiwa kemarau dilihat sangat parah apabila ia berlaku dalam tempoh yang panjang dan jumlah defisit air yang dialami adalah tinggi ataupun tempoh yang singkat tetapi jumlah defisit adalah tinggi. Situasi ini dapat ditunjukkan melalui peristiwa kemarau yang berlaku pada tahun 1976, 1977, 1978, 1989, 2001 dan 2006. Daripada analisis episod-episod kemarau yang melanda pada tahun-tahun tersebut, terdapat dua tahun boleh dikategorikan berlaku kemarau yang parah seperti ditunjukkan oleh petunjuk AMD dan AMDV. Episod kemarau pertama yang berlaku pada tahun 2001 di mana kemarau berlaku dalam tempoh yang panjang (AMD) dan telah menghasilkan jumlah defisit yang tinggi (AMDV). Peristiwa kemarau ini berlaku selama 239 hari (9 Mei 2001 – 3 Januari 2002) telah mengakibatkan jumlah defisit sebanyak $148.33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Dianggarkan purata defisit yang dialami dalam tempoh ini adalah sebanyak $0.62 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ sehari di mana jumlah defisit ini bersamaan 620 liter persaat. Episod kemarau kedua berlaku pada tahun 1977 iaitu 19 Januari – 28 Mei selama 129 hari. Jumlah defisit yang dialami adalah sebanyak $92.62 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ dengan purata defisit sebanyak $0.72 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ sehari. Jumlah purata ini bersamaan 720 liter persaat. Jika dibandingkan purata defisit ini dengan purata penggunaan air harian penduduk selangor (230 liter), jumlah defisit tersebut mampu membekalkan air kepada 270, 470 orang pengguna di Selangor. Jumlah ini mampu dibekalkan kepada penduduk daerah Sepang (penduduk 2010) dalam sehari.

Dari segi darjah keparahan kemarau berdasarkan pengelasan persentil Q, daripada keseluruhan jumlah luahan ($31,582.29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) yang mengalir sepanjang 48 tahun (1965-2013), hanya 3.7% sahaja yang dikategorikan kemarau iaitu $1,183.02 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Daripada jumlah defisit yang dialami ini, sebanyak 49.5% dikategorikan sebagai Kemarau Biasa ($Q_{70} - Q_{79.9}$) yang disumbangkan oleh 26 PK di mana ia merupakan 1.9% daripada keseluruhan luahan tempoh rekod. Sebanyak 40.7% lagi dikategorikan sebagai Agak Parah ($Q_{80} - Q_{89.9}$) di mana jumlah ini merupakan 1.5 % daripada keseluruhan luahan yang disumbangkan oleh 19 PK. Sebanyak 7.3% dikategorikan Sederhana Parah ($Q_{90} - Q_{94.9}$) seperti dicatatkan oleh 8 PK di mana jumlah ini merupakan 0.3% daripada keseluruhan jumlah luahan. Selebihnya iaitu 2.5 % lagi dikategorikan sebagai Parah (Q_{95} ke atas) seperti dicatatkan oleh 2 PK di mana jumlah ini merupakan 0.1% daripada keseluruhan jumlah luahan (Rajah 8). Berpandukan analisis keparahan kelas persentil ini, darjah keparahan defisit luahan air sungai adalah masih dalam keadaan terkawal kerana jumlah defisit yang telah berlaku adalah terlalu rendah iaitu kurang daripada 5% daripada keseluruhan luahan di stesen Lui. Jika diambil PAQ_{90} sebagai petunjuk kepada tahap keparahan yang ekstrem (8PK), secara puratanya ulangan kemarau yang melanda stesen sekitar 0.17 kali setahun. Namun jika PAQ_{95} sebagai petunjuk keparahan (2PK), purata ulangan kemarau dalam setahun sekitar 0.04 kali.



Rajah 6 Tahap keparahan mengikut kelas persentil

KESIMPULAN

Kemarau merupakan fenomena kekurangan air yang terjadi apabila jumlah bekalan air adalah berkurangan daripada paras normal. Menggunakan pelbagai paras PA mengikut persentil Q berdasarkan keluk tempoh alir sebagai paras asas sesuatu kemarau, membolehkan sesuatu tahap keparahan kemarau dapat diterangkan. Pengelasan tahap keparahan kemarau ini akan dapat memberi gambaran asas berkaitan tahap keparahan kemarau bagi sepanjang rekod luahan di lembangan Sungai Lui. Ini dapat membantu pihak-pihak yang berkepentingan dalam pengurusan sungai dan bekalan air di Malaysia. Selain itu tempoh dan jumlah defisit juga merupakan sifat penting yang mampu menggambarkan tahap keparahan kemarau. Secara keseluruhan tahap keparahan kemarau di stesen Lui adalah terkawal. Ini dilihat berdasarkan peratusan defisit kurang daripada 5% daripada keseluruhan luahan tempoh rekod. Tambahan lagi, darjah ulangan dan kepadatan kemarau yang ekstrem (PAQ₉₀) adalah rendah iaitu berlaku dalam tempoh 7 tahun sekali. Gambaran ini penting kerana lembangan Sungai Lui merupakan kawasan tadahan bagi membantu mengekalkan simpanan air bagi kelangsungan aliran air dalam sungai.

RUJUKAN

- Ahmad Jamalluddin, S. & Low, K.S. (2004). Droughts in Malaysia: A look at its characteristics, impacts, related policies and management strategies. (atas talian) http://www.nahrim.gov.my/images/LampiranPDF/KertasTeknikal/drought_in_malaysia.pdf (30 Mei 2012)
- Allaby, M. (2003). *Droughts*. New York: Facts On File, Incorporated.
- Barua, S. (2010). *Drought assessment and forecasting using a nonlinear aggregated drought index*. (Unpublished PhD Dissertation) Victoria University, Australia
- Birkel, C. (2005). *Temporal and spatial variability of drought indices in Costa Rica*. (Unpublished Master's thesis), Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, Germany. Dimuat turun daripada http://www.hydrology.uni-freiburg.de/abschluss/Birkel_C_2005_DA.pdf (30 Mei 2012).
- Blumenstock, 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. Dlm J. V Vogt & F. Somma (Eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe*. Netherlands: Springer-Science+Business Media, Bv.
- Byun, H.-R., & Wilhite, D. A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 12, 2747–2756.
- Byzedi, M. & Saghafian, B. (2009). Regional analysis of streamflow drought: A case study for southwestern Iran. *Proceeding World Academic Science Engineering Technology*, 57, 447–451.
- 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.
- Carroll, N., Frijters, P. & Shields, M.A., (2009). Quantifying the costs of drought: New evidence from life satisfaction data. *J. Population Econ.* 22 (2), 445–461.
- Chan N. W. (2004). *Management water resources in the 21st Century: Involving all stakeholders towards sustainable water resources management in Malaysia*. Bangi: Environmental Management Programme, Centre fo Graduate Studies, Universiti Kebangsaan Malaysia. 73 hlm.
- Clausen, B., & C.P. Pearson. (1995). Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. *Journal of Hydrology*, 173, 111 – 130.
- DID. (2011). *Review of the national water resources study (2000 - 2050 and formulation of national water resources study*. Final Report. Volume 14 - Selangor, Federal Territory of Kuala Lumpur and Putrajaya. Kuala Lumpur.
- Dracup, J. A., Lee, K. I. L. E., & Paulson, E. G. (1980). On the statistical characteristics of drought events. *Water Resource*, 16(2), 289–296.
- Ebrahimpour, M., Balasundram, S. K., Talib, J., Anuar, a. R., & Memarian, H. (2011). Accuracy of GeoWEPP in estimating sediment load and runoff from a tropical watershed. *Malaysian Journal of Soil Science*, 15, 25–33.
- 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.

- Fleig, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H., & Hannah, D. M. (2011). Regional hydrological drought in north-western Europe: Linking a new Regional Drought Area Index with weather types. *Hydrological Processes*, 25, 1163–1179. doi:10.1002/hyp.7644
- Griffiths, G. A. (1990). Rainfall deficits: Distribution of monthly runs. *Journal of Hydrology*, 115, 219–229.
- Hafizan, J., Sharifuddin, M. Z., Ahmad Zaharin, A., Mohd Kamil, Y., Mohd Armi, A. S., & Mazlin, M. (2010). Hydrological trend analysis due to land use changes at Langat River Basin. *Environment Asia*, 3, 20–31.
- Hamirdin I. (2008). *Scarcity in Abundance: The water resources challenges in Malaysia*. Inaugural Lecture. Universiti Malaya, Kuala Lumpur. 57 hlm.
- Hamirdin I. (2012). *Whither our water? Concern on Malaysia's water resources*. Public Lecture, Universiti Pendidikan Sultan Idris.
- Hamirdin, I & Siti Nazura, M. (2012). Challenges of water supply in developed states of Malaysia. Dlm. Hamirdin Ithnin (editor). *Readings in Malaysian Geography*. Tanjong Malim : Emeritus Publ. hlm. 69 – 89
- Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N., Widhalm, M., (2010). The lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bull. Am. Meteor. Soc.* 92 (4), 485–488.
- Hisdal, H., & Tallaksen, L. M. (2003). Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: A case study for Denmark. *Journal of Hydrology*, 281, 230–247.
- 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.
- Hudson, H.E. and R. Hazen. 1964. Drought and low stream flow. In: V.T. Chow (ed.), *Handbook of applied hydrology*. 18 (pg. 1-26). McGraw Hill, New York, N.Y.
- Hisdal, H., Tallaksen, L. M., Stahl, K., Zaidman, M., S, D., & Gustard, A. (2000). Hydrological drought – Streamflow. In H. Hisdal & L. M. Tallaksen (Eds.), *Drought Event Definition - Technical Report No. 6 Drought* (Technical., pp. 8 – 15). Oslo, Norway: Department of Geophysics, University of Oslo.
- Jamaluddin, M. J., Mohd Ekhwan, T., Noorazuan, M. H., & Kadaruddin, A. (2003). The domestic urban water consumption and integrated water resources management of Langat River Basin, Selangor. Dlm. Noorazuan M. H. & Ruslan R. (Eds.), *Urban ecosystem studies in Malaysia: A study of change*. Parkland, Florida: Universal Press.
- 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.
- Lai, C.H., Chan, N. W. & Nor Azazi, Z. (2013). Non-revenue Water Management in Malaysia: A Review of Selected Water Service Providers in Malaysia. *Geografi*, 1(2), 7 - 17
- 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. *Hydrology Earth System Science*, 17, 119–134.
- Maneo Lain, M. (2008). *Drought and climate change impacts on water resources : Management alternatives*. Universidad Politécnica de Madrid Tesis.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In. *Eighth Conference on Applied Climatology* (hlm. 17–22). Anaheim.
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*.
- Mohamad Suhaily Yusri, C.N., Zainudin, O., Mohmadisa, H., Nasir, N. & Yazid, S. (2014). Rainwater as a Potential alternative source of water in Tanjong Malim, Perak. *Geografi* 2 (1), 8-24.
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a hydrological drought index. *European Water*, 67–77.
- Nguyen, T. D. (2006). *Coping with drought in the central highlands – Vietnam*. Technical University of Denmark.
- Nordin, S., Hamirdin, I. & Mohamad Suhaily Yusri, C.N. (2015). Aplikasi kaedah paras ambang dalam menentukan peristiwa kemarau di Lembangan Sungai Langat, Selangor, Malaysia. *Jurnal Perspektif*, 7(3), 47-58
- 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.
- Shafer, B.A. & Dezman, L.E.. (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In. *Proceedings of the Western Snow Conference*, (hlm. 164–175). Colorado State Univ., Fort Collins, CO.
- Shukla, S., & Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, 35(2).
- Smakhtin, V. U. (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240, 147–186.
- Stefan, S., Ghioca, M., Rimbu, N. & Boroneant, C. (2004) Study of meteorological and hydrological drought in southern Romania from observational data. *International Journal Climatology* 24:871–881.

- Tallaksen, L. M. & Hisdal, H. (1997) Regional analysis of extreme streamflow drought duration and deficit volume, In: FRIEND'97-Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management (ed. by A. Gustard, S. Blazkova, M. Brilly, S. Demuth, J. Dixon, H. van Lanen, C. Llasat, S. Mkhandi & E. Servat), 141-150. IAHS Publ. no. 246
- Tallaksen, L. M., & Van Lanen, H. A. J. (2004). *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater* (48th ed., pp. 3–17). Amsterdam: Elsevier.
- Van Huijgevoort, M. H. J., Hazenberg, P., Van Lanen, H. A. J., & Uijlenhoet, R. (2012). A generic method for hydrological drought identification across different climate regions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 2437–2451.
- Van Loon, A. F., & Laaha, G. (2014). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology*, 526, 3–14.
- Van Loon, A. F., & Van Lanen, H. A. J. (2012). A process-based typology of hydrological drought. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(7), 1915-1946.
- Wada, Y., van Beek, L. P. H., & Bierkens, M. F. P. (2012). Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment. *Water Resources Research*, 48, 1-18.
- Waluyo, H. (2011, September). Hydrological Drought Indices and Monitoring in Indonesia. Paper presented at the *Expert Group meeting on Hydrological drought Indices - 1 - 2 Sept 2011, Geneva Switzerland*.
- World Meteorological Organization, 1993a: Guide on the Global Data-Processing System. WMO-No. 305, Geneva
- Wilhite, D. A. (2000). Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. In. D. A. Wilhite (ed.), *Drought: A Global Assessment* (hlm. 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.
- 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.
- Yevjevich, V. (1967). *An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts* (p. 23). Fort Collins: Colorado State University.
- Yevjevich, V. (1983) Methods for determining statistical properties of droughts. Dlm. Yevjevich, V., da Cunha, L., Vlachos, E. (eds). *Coping with droughts*. Colorado, Water Resources Publications. 22-43.
- Zelenhasic, E., & Salvai, A. (1987). A Method of streamflow drought analysis. *Water Resources Research*, 23(1), 156–168.