



## Variasi hujan dan potensi tuaian air hujan di Bandar Baru Bangi

Noorazuan Md. Hashim<sup>1</sup>, Shamsuddin Man<sup>2</sup>, Yaakob Mohd Jani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Geografi, Pusat Penyelidikan Kelestarian Sosial, Persekitaran dan Pembangunan,  
Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Kebangsaan Malaysia

<sup>2</sup>German-Malaysian Institute

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

### Abstrak

Pertambahan populasi bandar dan penguncupan rezab air di Selangor telah memungkinan pihak kerajaan mempromosikan kepenggunaan sistem penuaian air hujan sebagai sumber bekalan alternatif di kalangan pengguna. Makalah ini meneliti hasil aplikasi sistem berkenaan di tapak eksperimental Bandar Baru Bangi berdasarkan kepada beberapa episod variasi hujan yang direkodkan pada Disember 2014 hingga April 2015. Data cerapan berkenaan digunakan bagi mengenalpasti sejauhmana hubungkaitan di antara taburan hujan tempatan dan potensi isi padu variasi air tuaian yang dikutip oleh sistem berkenaan. Hasil eksperimental di tapak kajian menunjukkan isi padu tuaian hujan mempunyai julat yang besar, iaitu dari serendah 0.018 m<sup>3</sup> sehingga setinggi 2.722 m<sup>3</sup>. Model hubungan antara isi padu tuaian hujan dan kedalaman hujan menghasilkan nilai R<sup>2</sup> yang tinggi (R<sup>2</sup> = 89%). Hasil kajian ini juga telah menunjukkan keadaan isi padu tangki storan (1000 liter) di tapak eksperimental berkenaan adalah bersesuaian dengan kondisi taburan variasi tuaian hujan.

**Kata kunci:** Bandar Baru Bangi, hujan, isi padu tuaian, model, tapak eksperimental, tuaian air hujan

## Rainfall variation and rainwater harvesting potential in Bandar Baru Bangi

### Abstract

Rainwater harvesting is a method of capturing the rainfall to meet water requirement in both urban and rural areas. Urban population growth and reduction of water reserved in Selangor has allowed the government to promote the rainwater harvesting system as an alternative resource among consumers. This paper attempts to examine rainwater harvesting system at the experimental site of Bandar Baru Bangi, based on several episodes of rain variations recorded from December 2014 to April 2015. The observation data being used to identify the relationship between the local rainfall and the potential volume variation of the harvested water. The experimental results revealed that the harvested volume varies, from the lowest value of 0.018 m<sup>3</sup> to the highest of 2.722 m<sup>3</sup>. The relationship between harvested volume and the depth of rainfall produced significant R<sup>2</sup> value (R<sup>2</sup> = 89%). The study also proved that the volume of storage tank (1000 litres) at the experimental site is suitable with rainwater harvesting variation.

**Keywords:** Bandar Baru Bangi, rainfall, harvested volume, model, experimental plot, harvested rainwater

### Pengenalan

Sistem penuaian air hujan dilihat sebagai sumber alternatif yang berpaksikan kepada teknologi hijau yang selamat dan mampan. Pihak kerajaan melalui beberapa Kementerian telah menyarankan kepada rakyat Malaysia supaya mengaplikasikan sistem berkenaan selaras dengan langkah berjimat cermat dalam menggunakan bekalan air bersih yang disalurkan. Air dari penuaian hujan dapat menampung

permintaan sedia ada khususnya di kala terputusnya bekalan akibat daripada masalah yang timbul seperti paip bocor dan catuan air.

Sistem yang dianggap sebagai kaedah pengurusan terbaik, bukan sahaja dijadikan sebagai sumber bekalan air alternatif malahan mampu melambatkan aliran air larian permukaan malahan ianya juga yang percuma dan selamat digunakan. Kawasan tadahan sistem berkenaan juga dirujuk sebagai '*on site detention storage*' berfungsi untuk melambatkan aliran air larian permukaan dengan menahan seketika air hujan. Manakala tangki penuaian air hujan adalah berfungsi sebagai bekalan air hujan untuk kegunaan di tandas, menyiram kebun, membasuh kereta dan lain-lain kegunaan lagi. Di Selangor, kementerian memperkenalkan konsep penuaian hujan supaya kos rawatan air dapat dikurangkan.

Makalah ini meneliti hasil aplikasi sistem berkenaan di tapak eksperimental Bandar Baru Bangi, berdasarkan kepada beberapa episod variasi hujan yang direkodkan pada Disember 2014 hingga April 2015. Data cerapan berkenaan digunakan bagi mengenalpasti sejauhmana hubungkaitan di antara taburan hujan tempatan dan potensi isi padu variasi air tuaian yang dikutip oleh sistem berkenaan.

## Konsep asas Penuaian Air Hujan

Laporan bekalan air bersih terkini di Malaysia mendapati kapasiti pengeluaran air bagi 33 loji rawatan air di Selangor, Kuala Lumpur dan Putrajaya pada masa ini masih melebihi dari purata permintaan (BERNAMA, 2011). Namun, dengan pertambahan populasi (3.5 peratus setahun) dan pertumbuhan industri yang rancak memungkinkan rezab bekalan air akan menurun dengan begitu drastik. Menurut pihak SYABAS, rezab simpanan air adalah hanya pada kadar tiga hingga lima peratus sehari (kira-kira 150 hingga 200 JLH).

Krisis air ini bukan sahaja diramalkan akan berlaku di Malaysia, malahan ianya akan dirasai di seluruh dunia selewat-lewatnya pada 2050 (Jeffrey & Gearey, 2006). Senario ini akan terus menghantui masyarakat dunia dan Malaysia khususnya jika kita tidak mengambil langkah proaktif dalam menangani isu berkenaan. Oleh itu, kaedah penuaian air hujan dianggap sebagai penyelesaian terbaik bagi mengatasi masalah kekurangan air di sektor domestik.

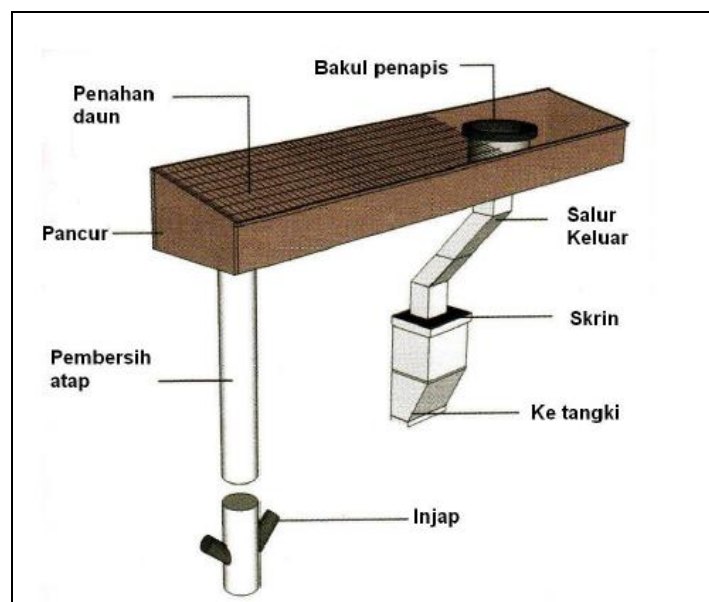
Namun, penuaian air hujan di Malaysia lebih menarik dikaji memandangkan ianya telah diperkatakan selaras dengan aspek pembangunan mampan dan juga kelestarian teknologi hijau (Ahmad & Huang, 2007). Di Malaysia, kaedah penuaian air hujan bukan sahaja dilihat sebagai sumber alternatif (Weng et al., 2004), bahkan ia turut dibincangkan sebagai faktor perencat banjir (Ahmad & Appan, 2007), kestabilan keseimbangan kitaran hidrologi bandar (Ahmad & Huang, 2007), pengurangan air larian permukaan (Thamer et al., 2007) dan penghalang hakisan tanah (Ahmad & Appan, 2007).

Kaedah ini dianggap sebagai suatu Kaedah Pengurusan Terbaik (*Best Management Practices*, BMP) yang mampu diamalkan di Malaysia (Noorazuan, 1999). Ia dijadikan sebagai alternatif bagi mendapatkan sumber bekalan air yang percuma dan selamat digunakan selain bertujuan untuk memperbaiki perkhidmatan ekosistem. Kaedah tersebut merupakan salah satu pilihan yang sesuai bagi mana-mana komuniti tanpa mengira latar belakang sosioekonomi sesebuah negara. Ia merupakan salah satu kaedah yang mudah dalam pengumpulan air dan digunakan di serata dunia dalam pengumpulan dan penyimpanan air bagi kegunaan akan datang. Namun, pelbagai faktor perlu diambil kira dalam mengoptimumkan kaedah tersebut di sesebuah kawasan termasuklah analisis permintaan dan bekalan, kajian ekonomi dan juga mengenalpasti tahap kebolehpercayaan kualiti kebersihan air berkenaan.

Menurut Che Ani et al. (2009), sistem penuaian air hujan yang tipikal harus mempunyai enam elemen utama iaitu; permukaan tadahan, pancur (*gutter*) dan salur keluar (*downpipe*), penapis bendasing, tangki simpanan, sistem agihan dan rawatan air. Pada asasnya, permukaan tadahan dan pancur merupakan dua elemen asas yang sedia ada di premis perumahan ataupun industri, cumanya laluan air tersebut di bawa terus ke longkang ataupun parit. Elemen selebihnya adalah infrastruktur yang perlu ditambah sekiranya pengguna berkeinginan untuk menggunakan kaedah tersebut.

Kualiti air hujan sangat bergantung kepada lokasi aktiviti penuaian dilakukan. Sekiranya ia dilakukan di kawasan perindustrian atau pusat bandar sudah semestinya ia terdedah kepada

pencemaran udara. Intensiti hujan dan tempoh kering juga mampu mempengaruhi kualiti air hujan yang dituai (Ahmad & Appan, 2007). Pada umumnya, untuk mengelak kehadiran bahan bendasing di atas permukaan bumbung (kawasan tadahan), penahan daun digunakan untuk menutupi bukaan kawasan pancur (Rajah 1).



Sumber: DID, 2009

**Rajah 1.** Penuaian air hujan ke tangki

Terdapat dua kaedah sistem penuaian air hujan ini disusun, samada ianya melibatkan penggunaan pam air ataupun kaedah graviti semata-mata. Kawasan tadahan atau bumbung yang digunakan juga turut mempengaruhi kualiti air hujan yang dikutip. Bahan binaan bumbung yang terdiri daripada bahan asbestos berkemungkinan boleh mencemarkan kualiti air hujan dan memerlukan sistem rawatan air yang bersesuaian (DID, 2009). Bagaimanapun, bahan binaan bumbung daripada jubin tanah liat dikatakan yang paling sesuai untuk aktiviti tersebut memandangkan permukaannya yang licin dan tidak mencemarkan kualiti air hujan.

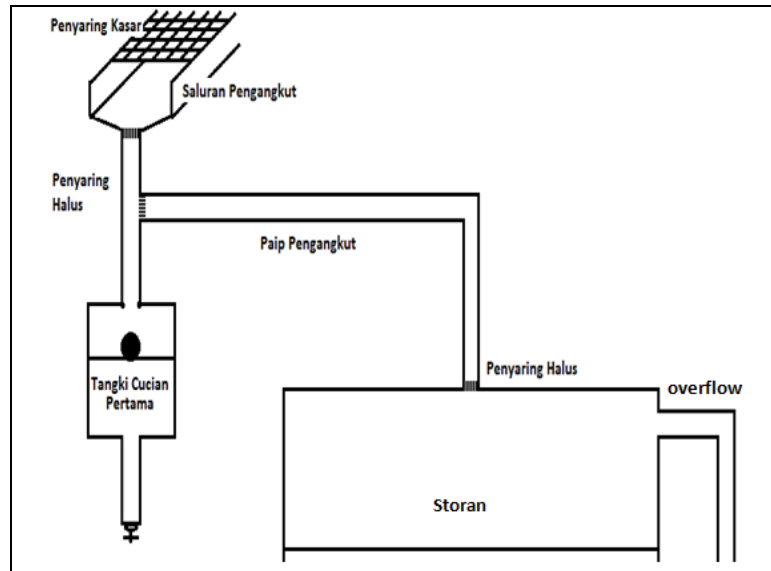
Bagi meningkatkan kualiti air hujan, aplikasi *first flush* adalah digalakkan. *First flush* merupakan suatu kaedah di mana air curahan pertama disingkirkan atau disalir keluar supaya tidak memasuki sistem tangki (DID, 2009). Rekabentuk takungan tangki *first flush* adalah bergantung kepada saiz keluasan kawasan tadahan. Menurut Sehgal (2005), setiap 100 m<sup>2</sup> keluasan memerlukan 30 liter tangki takungan *first flush*.

## Metodologi dan kawasan kajian

Beberapa pertemuan dan perbincangan bersama pihak pengurusan tertinggi Jabatan Pengairan Saliran (JPS) telah dilakukan bagi mendapatkan maklumat saintifik dalam rekabentuk sistem dalam menangani objektif kajian ini. Penapisan dan pemilihan terakhir premis kediaman yang bersesuaian ditentukan berdasarkan beberapa syarat seperti di bawah :

- (a) Sistem penuaian air hujan yang sempurna termasuk bumbung tadahan, saluran pengangkut, sistem agihan, takungan dan juga meter penggunaan air berkenaan.
- (b) Sistem *first flush* yang mengasingkan curahan pertama air hujan ke saluran keluar yang bersesuaian dengan isi padu berdasarkan saiz bumbung premis.
- (c) Maklumat penggunaan air hujan berkenaan berupaya dikumpul sekurang-kurangnya empat bulan.

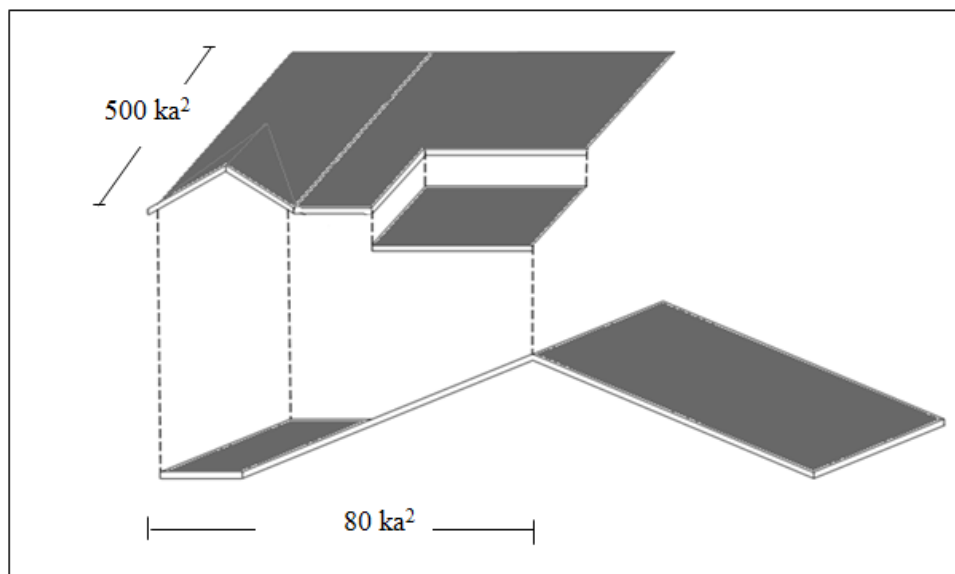
Justeru, sebuah rumah teres dua tingkat di Seksyen 4 Tambahan Bandar Baru Bangi telah dipilih sebagai tapak eksperimental mengenai kebolehgunaan sistem penuaian air hujan. Secara teoritikalnya, sistem berkenaan menggunakan bumbung rumah sedia ada sebagai kawasan tadahan air hujan dan disalurkan ke sistem penyaluran air ke storan (Rajah 2). Adalah dianggarkan jumlah saiz ruang bumbung yang digunakan sebagai kawasan tadahan adalah seluas 580 kaki persegi (Rajah 3)



Rajah 2. Rajah skematik sistem penuaian air hujan di Bandar Baru Bangi

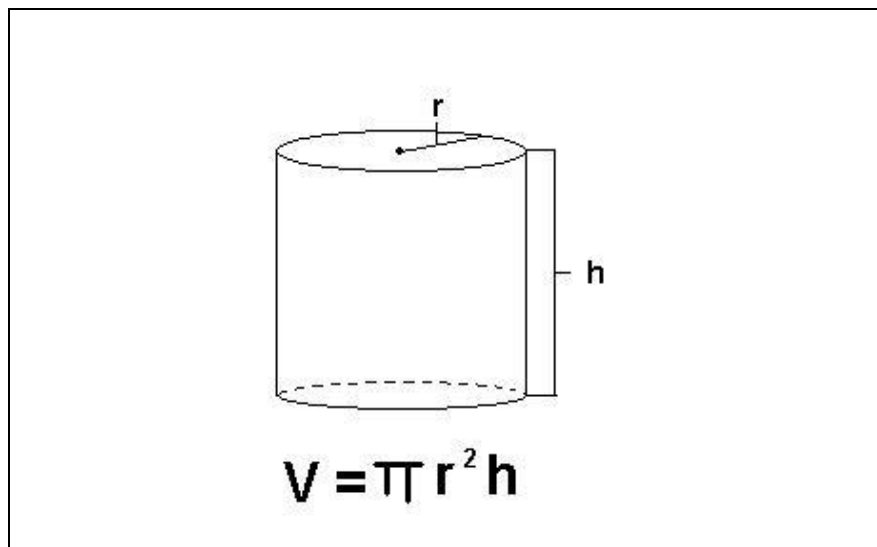
Dua sub-bumbung premis berkenaan yang digunakan sebagai kawasan tadahan iaitu saiz bumbung jenis *concrete tiles* seluas 20 x 25 kaki, dan sub-bumbung kedua (*concrete tiles*) seluas 16 x 5 kaki. Saiz sistem saluran pengangkut (*gutter system*) yang digunakan adalah saiz standard iaitu 140 mm x 140mm. Sistem *first flush* terpaksa direkabentuk dengan kemahiran sendiri memandangkan harga sistem berkenaan adalah terlalu mahal di pasaran (RM3500 sehingga RM4500).

Menurut Sehgal (2005), ukuran isi padu optimum tangki *first flush* adalah 30 liter air untuk setiap 1075 kaki persegi luas kawasan tadahan bumbung. Oleh itu, untuk luas bumbung premis kajian (580 kaki persegi) anggaran isi padu *first flush* adalah sebanyak 16 liter. Justeru, pilihan terbaik untuk membina sistem tangki *first flush* adalah dengan menggunakan paip PVC yang bersaiz 200mm.



Rajah 3 Skematik saiz bumbung sebagai kawasan tadahan air hujan

Formula di dalam Rajah 4 telah digunakan untuk menentukan panjang sistem tangki *first flush* yang diperlukan. Dengan mengetahui nilai isi padu ( $V = 16$  liter), *radius*,  $R$  ialah 100 mm maka ketinggian tangki ( $h$ ) berkenaan dapat dikira.



**Rajah 4.** Formula pengukuran saiz sistem tangki *first flush*

Oleh itu,  
 $V = \pi r^2 h$  ..... (i)  
di mana  
 $V =$  isi padu tangki *first flush* (16 liter)  
 $\pi = 3.142$   
 $R = 100$  mm, maka  
 $h = V/\pi r^2$   
 $h = 509$  mm atau 0.509 m

Untuk melengkapkan lagi sistem berkenaan, tangki storan yang bersaiz 1000 liter telah dipilih untuk model kajian ini, dengan penambahan sistem *outflow* sekiranya berlaku limpahan semasa hujan lebat. Bagi mengenalpasti tahap kebolehpayaan sistem berkenaan di dalam membekalkan air luar badan (*non potable usage*) di premis berkenaan, semua penggunaan air untuk tandas dan cucian umum (luar rumah) dipantau dan direkodkan setiap hari untuk beberapa bulan tertentu.

Secara umumnya, tahap kebolehppercayaan kaedah penuaian air hujan ditentukan oleh jumlah isi padu air hujan yang diterima berbanding dengan jumlah penggunaan atau permintaan air. Jumlah isi padu air hujan dikira berdasarkan kepada maklumat data hujan harian yang berterusan selama sekurang-kurangnya 20 tahun. Memandangkan stesen hujan yang dikendalikan oleh pihak Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) (koordinat: 2° 55' 49"U, 101° 46' 42"T) di kawasan kajian iaitu Bandar Baru Bangi tidak memenuhi syarat berkenaan kerana terdapat lompong data harian yang melebihi 17% (1992 hingga 2002) dan kehilangan data melebihi 65% (2004 hingga 2012) akibat ralat bacaan, stesen hujan yang paling terdekat telah digunakan.

Stesen hujan di Kajang (koordinat: 2° 59' 39"U, 101° 47' 32"T) yang dikendalikan oleh pihak Jabatan Pengairan dan Saliran telah digunakan untuk kajian ini memandangkan ianya memenuhi syarat berkaitan. Maklumat hujan berkenaan telahpun diteliti dan dikaji kelompangan datanya dan didapati tiada lompong maklumat hujan harian sebanyak 7670 hari di antara 1986 hingga 2006. Kedudukan stesen berkenaan yang terletak hampir dengan kawasan kajian (iaitu 3.2 km daripada pusat kawasan kajian) dijangka dapat mewakili keadaan hujan setempat kawasan kajian.

Maklumat hujan tahunan dan bulanan dari tahun 1986 sehingga 2006 digunakan bagi mengenalpasti trend jangka panjang hujan di kawasan kajian. Variasi dalam hujan tahunan dan bulanan dibincangkan berdasarkan kepada keadaan klimatologi tempatan. Data hujan setiap jam (*hourly*) terkini iaitu pada masa tempoh ujian eksperimental dilakukan iaitu pada Disember 2014 sehingga 30 April 2015 digunakan bagi mengenalpasti sejauhmanakah hubung kaitan di antara taburan hujan dan potensi isi padu air tuaian yang dikutip oleh sistem berkenaan. Analisis regresi mudah digunakan bagi mencerminkan hubungan di antara kedua-dua elemen tersebut. Data harian (setiap jam) digunakan bagi mengenalpasti tahap kebolehpayaan jangka pendek (4 bulan) semasa pengoperasian model kajian yang telah dibentuk.

Suatu persamaan hidrologi dibentuk bagi mengenalpasti tahap hubungan di antara elemen hujan dan isi padu air tuaian yang dikutip oleh sistem di tapak eksperimen tersebut. Persamaan berkenaan adalah seperti berikut;

$$I = [H]*C \pm a \quad (\text{ii}), \text{ di mana}$$

I = Isi padu tuaian ( $\text{m}^3$ )

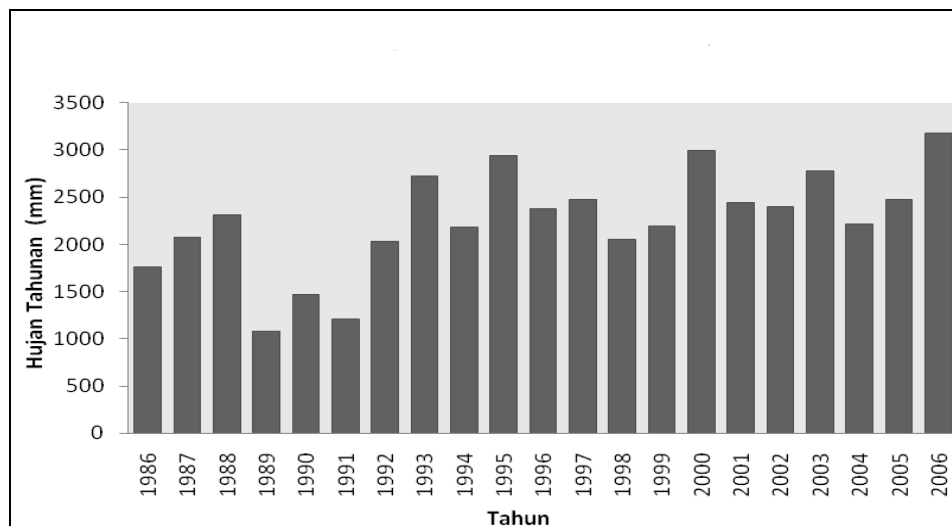
H = hujan (mm)

C = koefisien hujan

a = konstan

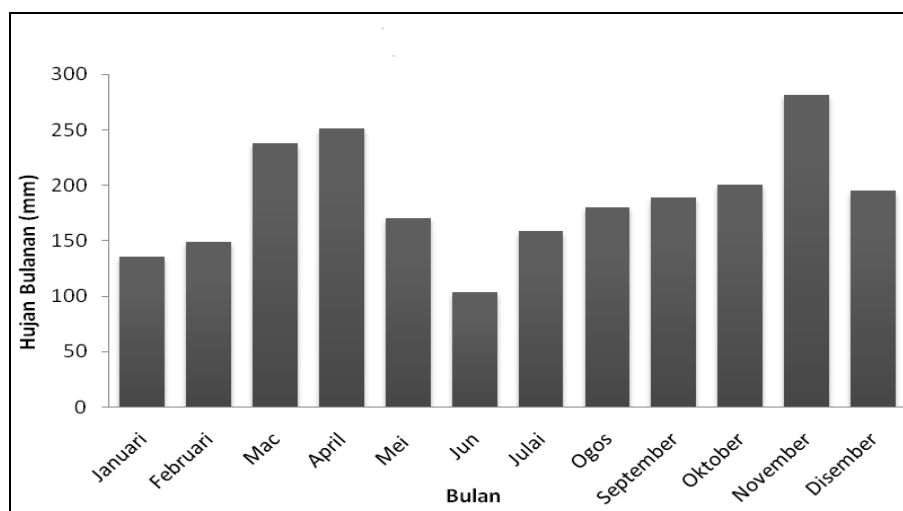
## Hasil kajian dan perbincangan

Rajah 5 menunjukkan variasi taburan hujan tahunan yang direkodkan dari tahun 1986 hingga 2006 bagi stesen Kajang. Adalah didapati taburan hujan tahunan berubah-ubah dari tahun ke tahun dengan julat di antara 1070 mm hingga melebihi 3000 mm setahun. Purata hujan tahunan dalam tempoh 21 tahun adalah sebanyak 2253 mm. Taburan hujan tahunan yang sangat tinggi adalah manifestasi daripada keletakan geografi Malaysia di garisan khatulistiwa yang mengalami ciri-ciri panas dan lembap sepanjang tahun. Taburan hujan yang tinggi sepanjang tahun ini membuktikan kebolehmampuan dan potensi lokasi tempatan dalam melaksanakan sistem penuaian air hujan.



Rajah 5. Taburan hujan tahunan (1986-2006) bagi stesen Kajang

Rajah 6 menunjukkan variasi taburan purata hujan bulanan (1986-2006) bagi stesen Kajang. Berdasarkan rekod berkenaan, purata bulanan hujan adalah sebanyak 187 mm. Bagaimanapun taburan hujan berubah-ubah dari bulan ke bulan dengan julat di antara 100 mm hingga melebihi 280 mm sebulan. Bulan-bulan di antara Januari-Februari dan Jun-Julai dianggap bulan-bulan 'kering' di mana taburan hujan bulanan kurang daripada 160 mm sebulan.



**Rajah 6.** Taburan hujan bulanan (1986-2006) bagi stesen Kajang

Keadaan bulan kering pada bulan Jun-Julai adalah hubungkaitnya dengan kehadiran angin kering Monsun Barat Daya yang lemah di Pantai Barat Semenanjung, manakala keadaan kering semasa bulan Januari-Februari dikaitkan dengan tempoh penghujung musim hujan Monsun Timur Laut di Pantai Barat. Bagaimanapun, taburan hujan bulanan yang masih dianggap tinggi ini dijangka mempermudah lagi usaha untuk melaksanakan kaedah penuaian air hujan di kawasan kajian.

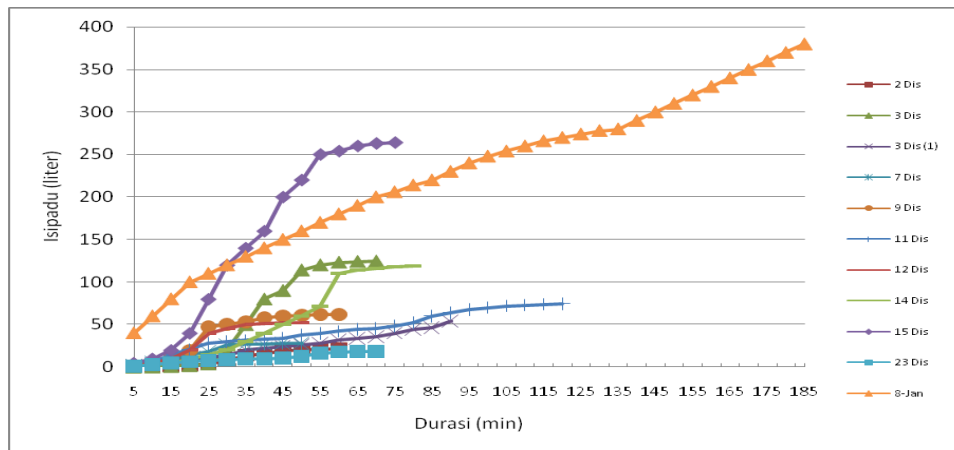
Tapak eksperimental penuaian air hujan di Bandar Baru Bangi yang telah mula beroperasi pada 1 Disember 2014 berjaya merekodkan ‘hujan aktif’ sebanyak 22 peristiwa atau episod hujan. ‘Hujan aktif’ di sini dirujuk sebagai hujan yang melebihi daripada tahap ambang sistem *first flush* yang telah dipasang. Takat ambang yang difikirkan sesuai dan optimum dengan sistem berkenaan adalah sebanyak 20 liter. Ini bermakna, isi padu hujan yang direkodkan melebihi 20 liter pada satu-satu episod hujan direkodkan sebagai satu peristiwa hujan aktif.

Di antara 22 peristiwa hujan berkenaan, sebanyak 16 peristiwa hujan (atau 72.8 peratus) adalah peristiwa hujan yang berlaku di dalam bulan Disember 2014. Manakala selebihnya 3 peristiwa hujan (atau 13.6 peratus) adalah di dalam bulan Januari 2015 dan baki 3 peristiwa hujan lagi (atau 13.6 peratus) adalah di dalam bulan Februari 2015. Tiada hujan aktif yang direkodkan melebihi daripada takat ambang yang diperlukan pada bulan April 2015.

Bagi memudahkan analisis variasi isi padu tuaian hujan, tiga kategori atau bentuk data isi padu tuaian hujan telah dikenalpasti berdasarkan kepada perbezaan isi padu dan tempoh masa (durasi) cerapan, iaitu:

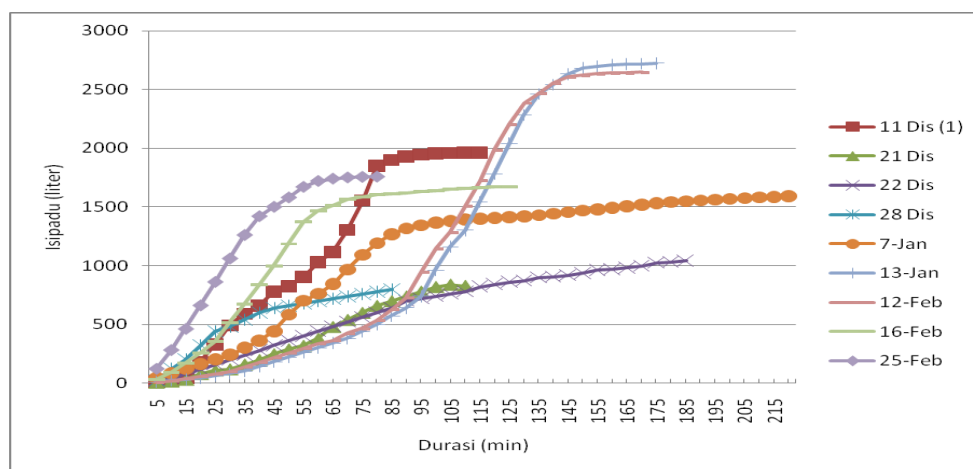
- (a) Isi padu tuaian hujan yang kurang daripada 500 liter pada setiap peristiwa.
- (b) Isi padu tuaian hujan yang melebihi daripada 500 liter pada setiap peristiwa.
- (c) Isi padu tuaian hujan melebihi daripada 250 liter (durasi) pada setiap peristiwa.

Terdapat sebelas peristiwa hujan yang menghasilkan jumlah isi padu tuaian hujan kurang daripada 500 liter/peristiwa (Rajah 7). Isi padu tuaian tertinggi (maksimum) telah dikutip pada 8 Januari 2015, iaitu 380 liter dalam tempoh 185 minit. Intensiti isi padu tuaian adalah sebanyak 2.05 liter/minit. Sebanyak 18.5 liter isi padu tuaian air direkodkan pada 8 Januari 2015 dan dirujuk sebagai terendah (minimum) dalam kategori isi padu kurang daripada 500 liter per peristiwa. Intensiti isi padu pada tahap terendah ini adalah sebanyak 0.26 liter/minit. Sebanyak 4 peristiwa hujan berlaku dalam tempoh yang kurang daripada 60 minit (1jam), manakala selebihnya (7 peristiwa hujan) yang direkodkan adalah melebihi daripada tempoh berkenaan.



**Rajah 7.** Variasi isi padu air tuaian hujan yang kurang daripada 500 liter/peristiwa

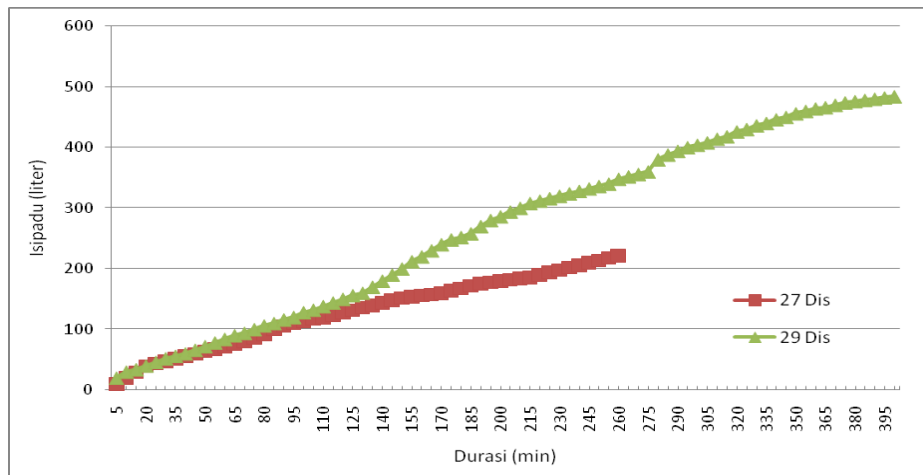
Rajah 8 menunjukkan sembilan peristiwa hujan yang menghasilkan jumlah isi padu tuaian hujan yang melebihi daripada 500 liter/peristiwa. Isi padu tuaian tertinggi (maksimum) telah dikutip pada 13 Januari 2015, iaitu 2722 liter dalam tempoh 175 minit. Intensiti isi padu tuaian adalah sebanyak 15.5 liter/minit. Sebanyak 800 liter isi padu tuaian air direkodkan pada 28 Disember 2014 dan dirujuk sebagai terendah (minimum) dalam kategori isi padu lebih daripada 500 liter per peristiwa. Intensiti isi padu tuaian pada tahap terendah ini adalah sebanyak 9.41 liter/minit. Sebanyak 5 peristiwa hujan berlaku dalam tempoh yang kurang daripada 120 minit (2jam), manakala selebihnya (4 peristiwa hujan) yang direkodkan adalah melebihi daripada tempoh berkenaan.



**Rajah 8.** Variasi isi padu air tuaian hujan yang melebihi 500 liter/peristiwa

Rajah 9 menunjukkan satu lagi hasil berkaitan variasi isi padu tuaian hujan yang dikategorikan sebagai melebihi 250 minit/peristiwa. Adalah didapati hanya dua peristiwa hujan yang termasuk dalam kategori tersebut, iaitu pada 27 dan 29 Disember 2015. Hujan pada 29 Disember 2015 telah menghasilkan hasil tuaian tertinggi iaitu sebanyak 484 liter dalam tempoh masa terpanjang iaitu 400 minit. Justeru, intensiti isi padu tuaiannya adalah sebanyak 1.2 liter/minit. Manakala peristiwa hujan pada 27 Disember 2014 telah menghasilkan tuaian air minimum sebanyak 222 liter pada tempoh masa 260 minit intensiti isi padu tuaian sebanyak 0.85 liter/minit.

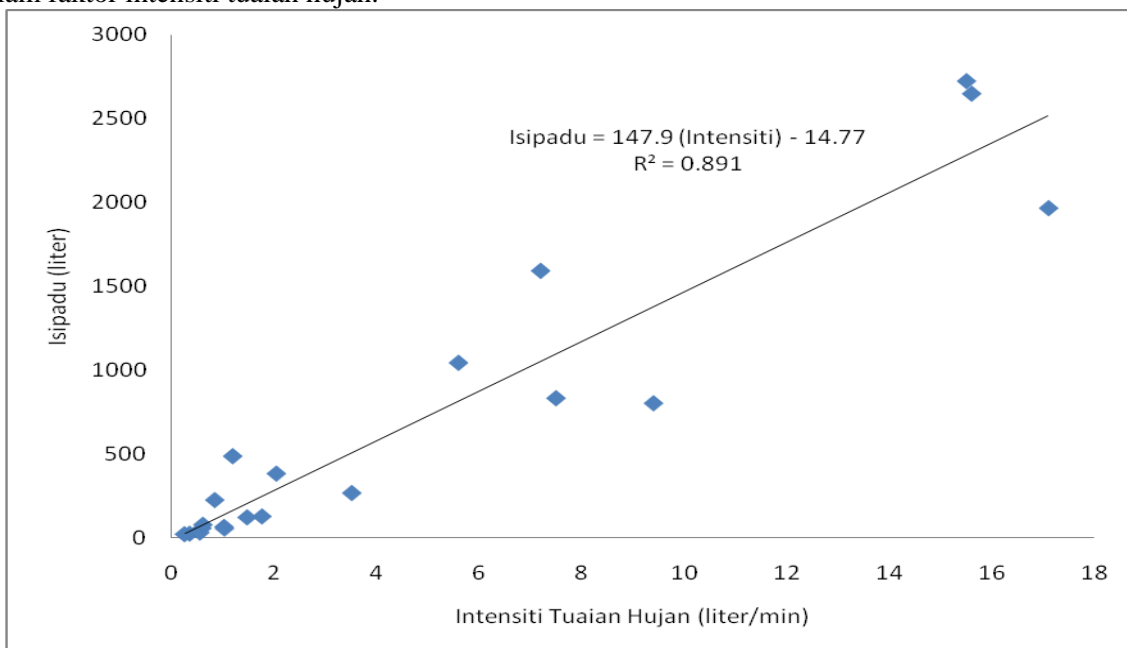




**Rajah 9.** Variasi isi padu air tuaian hujan yang lebih daripada 250 minit

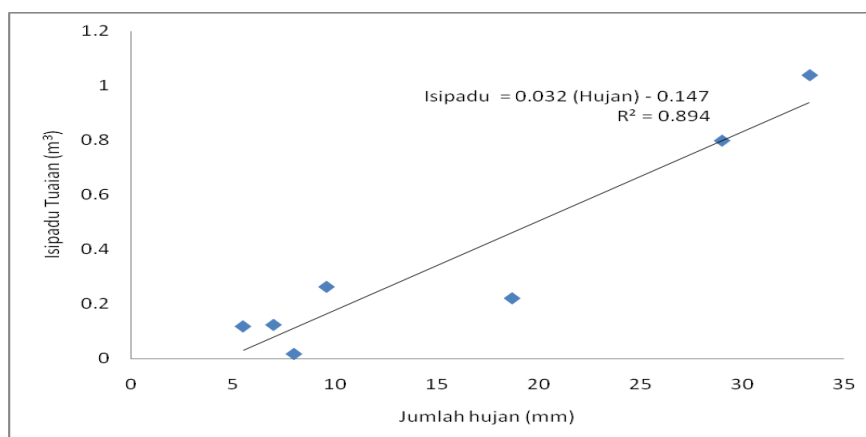
Ketiga-tiga hasil variasi tuaian air hujan tersebut menunjukkan suatu ciri terpenting di dalam menerokai air hujan sebagai bekalan air alternatif di kawasan kajian. Maksudnya, taburan hujan sedemikian telah menghasilkan variasi tuaian yang berbeza dari aspek isi padu dan juga tempoh masa kutipan, khususnya pada musim hujan (bulan-bulan basah). Hasil kajian ini juga telah menunjukkan keadaan isi padu tangki storan (1000 liter) di tapak eksperimental berkenaan adalah bersesuaian dengan kondisi taburan variasi tuaian hujan. Ini adalah kerana (dengan saiz bumbung yang dipilih iaitu sebanyak 580 kaki persegi), saiz isi padu tangki telah memenuhi keperluan tuaian sebanyak 15 peristiwa hujan atau hampir 70 peratus daripada jumlah peristiwa hujan.

Rajah 10 menunjukkan hubungan di antara jumlah tuaian air hujan (liter) dengan intensiti tuaian (liter/min). Hubungan di antara 22 peristiwa hujan berkenaan telah menunjukkan hubungan yang kuat serta positif dengan nilai  $R^2$  adalah sebanyak 0.89. Secara statistik, hubungan ini menunjukkan hasil tuaian air hujan akan meningkat secara progresif dengan nilai intensiti isi padu tuaian hujan. Model hubungan berkenaan [Isi padu = 147.9 (Intensiti Tuaian) - 14.77],  $R^2$  telah menunjukkan sebanyak 90 peratus perubahan di dalam nilai isi padu tuaian adalah disebabkan oleh perubahan di dalam faktor intensiti tuaian hujan.



**Rajah 10.** Perhubungan di antara isi padu dan intensiti tuaian hujan

Hasil kajian pada Rajah 11 adalah lebih menarik lagi apabila ianya menjelaskan hubungan di antara jumlah tuaian air hujan (dengan saiz bumbung yang dipilih iaitu sebanyak 580 kaki persegi) dengan jumlah hujan sebenar di lapangan.



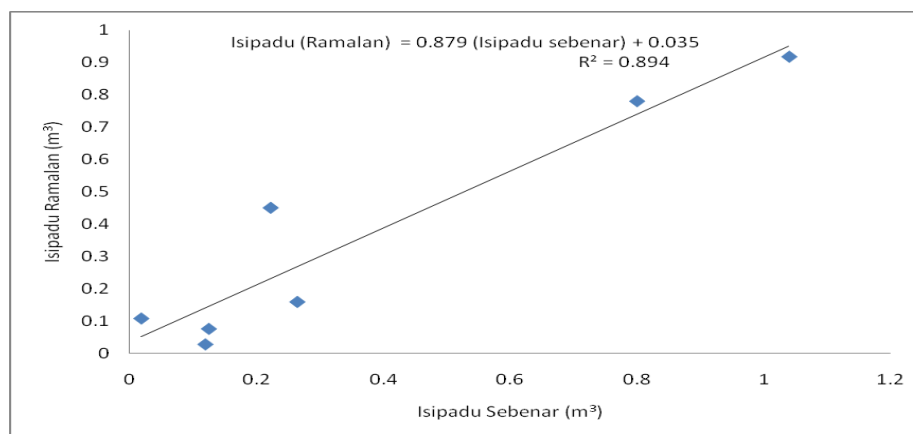
**Rajah 11.** Hubungan di antara jumlah hujan dan isi padu tuaian air hujan

Terdapat masalah pencerapan data di dalam kajian ini di mana stesen hujan yang sepatutnya mewakili kawasan kajian iaitu stesen hujan telemetrik milik Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) didapati rosak dan tidak dapat membekalkan data hujan yang dikehendaki kerana masalah mekanikal. Ianya memerlukan masa dan kos yang tinggi di dalam pembaikpulihan stesen berkenaan.

Justeru, sebagai opsyen yang ada, stesen hujan automatik JPS di bandar Kajang telah digunakan di dalam analisis ini. Namun, memandangkan wujudnya perbezaan ruang dan jarak di antara lokasi stesen hujan dan tapak eksperimen hanya tujuh peristiwa hujan yang benar-benar representasi keadaan hujan di tapak eksperimen iaitu di Seksyen 4, Bandar Baru Bangi pada tempoh masa kajian.

Hubungan di antara 7 peristiwa hujan berkenaan telah menunjukkan hubungan yang kuat serta positif dengan nilai  $R^2$  adalah sebanyak 0.89. Secara statistiknya, hubungan ini menunjukkan hasil tuaian air hujan meningkat secara progresif dengan nilai jumlah hujan setempat. Model hubungan berkenaan [Isi padu Tuaian = 0.032 (Hujan) - 0.147],  $R^2$  telah menunjukkan sebanyak hampir 90 peratus perubahan di dalam nilai isi padu tuaian adalah disebabkan oleh perubahan di dalam faktor hujan tempatan.

Penentuan koefisien (*coefficient of determination*) model berkenaan adalah sebanyak 0.89 dan dilihat signifikans dalam pemodelan isi padu tuaian hujan di kawasan kajian. Model berkenaan dilihat mampu digunakan dalam meramalkan jumlah isi padu tuaian air hujan hanya dengan menggunakan maklumat hujan setempat. Nilai isi padu tuaian hujan yang diramalkan didapati selaras dengan isi padu tuaian hujan yang dicerapkan semasa tempoh kajian (Rajah 12). Bagaimanapun, kesesuaian model yang dibentuk ini hanya sesuai untuk saiz bumbung yang sama dengan kajian ini (iaitu 580 kaki persegi).



Rajah 12. Perbandingan di antara isi padu sebenar dan isi padu ramalan tuaian air hujan

Persamaan model hubungan isi padu tuaian dan hujan, [Isi padu Tuaian = 0.032 (Hujan) - 0.147] telah digunakan bagi meramalkan isi padu tuaian hujan ramalan (Jadual 1). Adalah didapati ralat daripada model berkenaan hanyalah dari -0.229 m<sup>3</sup> hingga 0.12 m<sup>3</sup>. Nilai ralat berkenaan dianggap kecil dan model berkenaan boleh diterimapakai.

Jadual 1. Nilai Isi Padu Tuaian Sebenar dan Ramalan Mengikut Model

Tarikh	Jumlah Hujan (mm)	Isi padu tuaian yang direkodkan (m <sup>3</sup> )	Isi padu tuaian yang diramalkan (m <sup>3</sup> )	Ralat (m <sup>3</sup> )
03 Disember 2015	7.0	0.1250	0.0770	0.047
14 Disember 2015	5.5	0.1190	0.0290	0.090
15 Disember 2015	9.6	0.2640	0.1602	0.103
22 Disember 2015	8.0	0.0180	0.1090	-0.091
23 Disember 2015	18.7	0.2220	0.4514	-0.229
27 Disember 2015	33.3	1.0400	0.9186	0.121
28 Disember 2015	29.0	0.8000	0.7810	0.019

## Kesimpulan

Hasilan variasi tuaian air hujan tersebut menunjukkan suatu ciri terpenting di dalam menerokai air hujan sebagai bekalan air alternatif di kawasan kajian. Maksudnya, taburan hujan sedemikian telah menghasilkan variasi tuaian yang berbeza dari aspek isi padu dan juga tempoh masa kutipan, khususnya pada musim hujan (bulan-bulan basah). Hasil kajian ini juga telah menunjukkan keadaan isi padu tangki storan (1000 liter) di tapak eksperimental berkenaan adalah bersesuaian dengan kondisi taburan variasi tuaian hujan. Ini adalah kerana (dengan saiz bumbung yang dipilih iaitu sebanyak 580 kaki persegi), saiz isi padu tangki telah memenuhi keperluan tuaian sebanyak 15 peristiwa hujan atau hampir 70 peratus daripada jumlah peristiwa hujan.

## Rujukan

- Ahmad Jamalluddin Shaaban, Adhityan Appan (2007) Utilising rainwater for non-potable domestic uses and reducing peak urban runoff in Malaysia. *Rainwater Utilization Colloquium*. NAHRIM Mini Auditorium, 19-20 April.
- Ahmad Jamalluddin Shaaban, Huang Yuk Feng (2007) NAHRIM's experince in rainwater utilisation system research. *Rainwater Utilization Colloquium*. NAHRIM Mini Auditorium, 19-20 April.
- BERNAMA (2011) Krisis air masa hadapan. *Berita Harian*. 13 Julai.

- Brewer D, Brown R, Stanfield G (2001) Rainwater and greywater in buildings: Project report and case studies. Technical Note TN 7/2001. BSRIA, Berkshire.
- Che Ani AI, Shaari N, Sairi A, Zain MFM, Tahir MM (2009). Rainwater harvesting as an alternative water supply in the future. *European Journal of Scientific Research*. **34**, 132-140.
- DID (2009) *Rainwater harvesting guidebook*. Department of Irrigation and Drainage, Selangor, Malaysia.
- Jeffrey P, Gearey M (2006) Consumer reactions to water conservation policy instruments. In: Butler D, Memon FA (eds) *Water Demand Management*. IWA Publishing, London.
- Noorazuan Md. Hashim (1999) Social analysis and water supply planning in Malaysia. *National Proceedings of Population issues in Malaysia II*. UKM, Bangi.
- Sehgal G (2005) *Guideline to rainwater harvesting in Malaysia*. Rotary Club, Johor Bharu.
- Thamer Ahmed Mohammed, Megat Johari Megat Mohd Noor, Noor AHG (2007) Study on potential uses of rainwater harvesting in urban areas. *Rainwater Utilization Colloquium*. NAHRIM Mini Auditorium, 19-20 April.
- Weng CN, Zakaria NA, Ab. Ghani A, Nitivattananon V (2004) *Incorporating rainfall harvesting mechanisms into building designs for water resources management: Examples from Malaysia*.