

Analisis Air Masuk Bawah Tanah: Kajian Kes di Sekitar Perumahan Sungai Isap, Kuantan

Farawaheeda Rashid^{1*}, Muhd Fadhlullah Rashid²

¹Department of Civil Engineering, Politeknik Kota Bharu, 16450 Ketereh, Kelantan

²Kolej Komuniti Pasir Mas

*Corresponding author E-mail: farawaheeda.poli@1govuc.gov.my

Abstrak

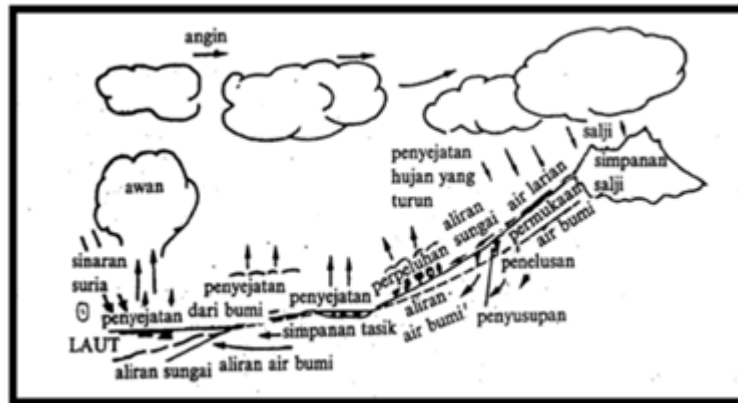
Aliran air masuk bawah tanah dan keupayaan akuifer adalah isu-isu penting dalam penyiasatan sumber air kerana sedikit sebanyak ia mempengaruhi peningkatan aras air bumi disesebuah kawasan. Kawasan yang mempunyai tanah jenis berbutir kasar (pasir dan kelikir) biasanya mempunyai kadar air masuk bawah tanah yang tinggi berbanding dengan kawasan tanah berbutir halus (liat dan kelodak). Di dalam penyelidikan ini, aliran air masuk bawah tanah, pekali aliran masuk dan keberkesanan hujan ditentukan menerusi kajian kes dengan menggunakan kaedah empirikal berkenaan zon tropika. Lokasi kajian yang dipilih adalah di sekitar kawasan Perumahan Sungai Isap kerana kawasan terlibat merupakan kawasan yang seringkali mengalami banjir yang besar. Data yang berkaitan dengan klimatologi antara Januari 2007 dan Disember 2016 telah dikumpulkan melalui data meteorologi Bandar Kuantan untuk tujuan analisis. Berdasarkan keputusan analisis menunjukkan bahawa aliran masuk air bawah tanah adalah 700.4 mm per tahun, hujan adalah 3334 mm per tahun, air larian permukaan 976.5 mm per tahun, dan evapotranspirasi 1655.9 mm per tahun bagi kawasan kajian. Secara ringkasnya, hujan ditukar kepada air larian permukaan, air masuk bawah tanah dan evapotranspirasi masing-masing ialah 21 %, 29 % dan 49 % daripada hujan. Korelasi antara parameter iklim dan aliran masuk air bawah tanah menunjukkan hubungan positif dan negatif. Korelasi yang tertinggi didapati hubungan antara air masuk bawah tanah dengan hujan, air larian permukaan dan suhu. Ini membuktikan bahawa formula yang digunakan di dalam analisis memberi anggaran nilai air masuk bawah tanah yang tepat bagi projek-projek yang sama.

Kata Kunci: aliran masuk air bawah tanah; evapotranspirasi; air larian permukaan; hujan

1.0 PENDAHULUAN

Air tanah ialah air atau sebarang kelembapan yang terdapat di bawah permukaan bumi. Sumber utama air dan kelembapan ini adalah hujan di mana ia meresap dan memenuhi rongga-rongga di dalam tanah. Menurut kajian yang dijalankan oleh Bujang, *et. al.* (1991), beliau menyatakan bahawa aliran air bergerak adalah dari kawasan yang mempunyai keupayaan galas yang tinggi ke kawasan yang mempunyai keupayaan galasrendah. Sumber air boleh diperolehi daripada sungai, tasik, laut, air bawah tanah dan pelbagai sumber lain. Menurut Seyed Reza *et. al.* (2013), air tanah adalah satu sistem dinamik yang terletak di bawah permukaan bumi di mana pergerakannya dikawal oleh beberapa faktor bidang yang berbeza seperti hidrologi, hidrogeologi dan klimatologi.

Aliran masuk air bawah tanah adalah satu proses kitaran hidrologi dimana terhasil daripada air larian bergerak dari permukaan tanah ke lapisan tanah bawah melalui zarah-zarah tanah yang ada (Rajah 1.0). Aliran masuk air bawah tanah ini juga antara faktor penting yang perlu dinilai lebih lengkap kerana peranannya sebagai penentu aras air bumi terutama sebelum sesuatu struktur dibina di atasnya. Nurly Gofar *et. al.* (2008), menyatakan bahawa informasi berkaitan aras air bumi dan sebarang bentuk tekanan artesis dalam strata tanah sangat penting untuk ditentukan semasa penyiasatan tapak. Ini kerana beberapa masalah dalam pembinaan adalah berkaitan dengan kehadiran aliran air bawah tanah.



Rajah 1.0: Kitaran Hidrologi (Fatimah Mohd Noor *et. al.* 2008)

1.2 Penyataan Masalah

Masalah banjir kilat yang teruk berlaku pada kawasan yang rendah adalah disebabkan oleh kehadiran air lebihan di permukaan tanah. Air hujan yang turun tidak henti pada kadar 300 mm/jam di sesuatu kawasan yang rendah boleh mengakibatkan air larian permukaan tinggi dan air masuk bawah tanah adalah rendah mengikut jenis tanah dan tumbuh-tumbuhan kawasan tersebut. Menurut kajian yang dijalankan oleh Bujang, *et al.* (1991), beliau menyatakan bahawa kadar kebolehtelapan air bagi tanah liat adalah rendah berbanding dengan kadar kebolehtelapan air ke dalam tanah berpasir. Ciri-ciri fizikal dan kejuruteraan tanah sangat dipengaruhi oleh kandungan air terutamanya untuk tanah berbutir halus di mana, tanah liat boleh menjadi keras seperti batu apabila kering dan berkeadaan plastik serta lembut apabila dipenuhi air jika dibandingkan dengan tanah berbutir halus atau berpasir yang agak longgar apabila kering dan lebih kuat serta stabil apabila basah (Liu C. *et al.*, 2005).

Air bumi terhasil secara semulajadi iaitu berada pada zon tepu dan peningkatan aras air bumi bergantung kepada air masuk bawah tanah. Penentuan jumlah air masuk ke dalam tanah sama ada secara mendatar atau condong adalah bergantung kepada topografi muka bumi dan jenis tanah sesebuah kawasan. Kawasan perumahan Sungai Isap, di Kuantan adalah sebuah kawasan yang di kelilingi oleh bukit. Kawasan kajian adalah kawasan sublembangan yang sering mengalami isu pencerobohan rezab sungai, pencemaran dan banjir (laporan JPS@komuniti, 2012). Kawasan ini juga mempunyai struktur muka bumi yang mendatar dan merupakan kawasan baru bagi projek pembangunan di Kuantan, Pahang.

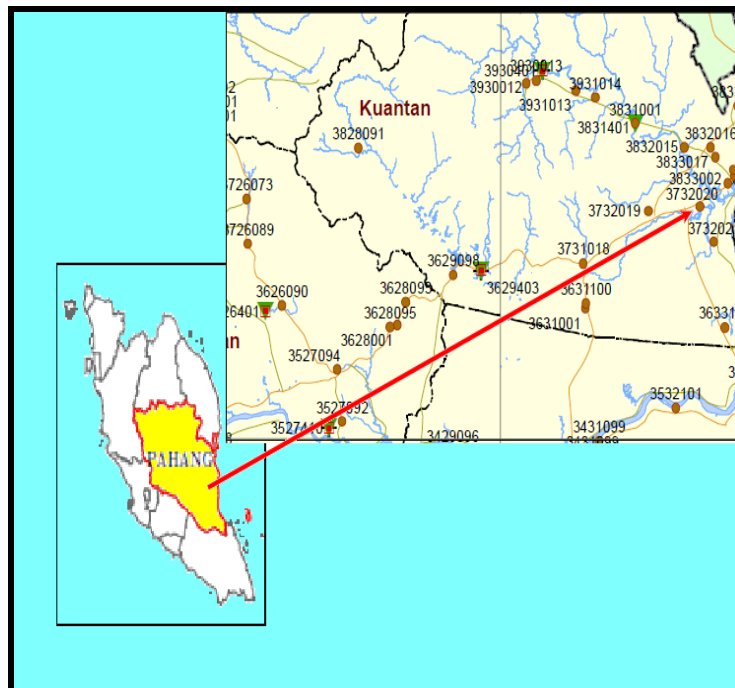
1.3 Objektif Kajian

Kajian yang dijalankan adalah bertujuan untuk menganalisis data hujan, menentukan evapotranspirasi dan air larian permukaan bagi tempoh 10 tahun (bermula tahun 2007 – 2016) serta menentukan kadar air masuk dalam tanah, R , dengan menggunakan formula empirik yang sesuai berdasarkan data meteorologi kawasan kajian.

1.4 Skop Kajian

Untuk menentukan air masuk bawah tanah, butiran seperti lokasi kajian dan keluasan kawasan kajian perlu dikenalpasti terlebih dahulu. Kawasan kajian yang dipilih adalah kawasan persekitaran perumahan Sungai Isap, Kuantan, Pahang. Kawasan tersebut dipilih kerana ianya merupakan kawasan yang seringkali mengalami masalah banjir setiap tahun.

Bagi menentukan air masuk bawah tanah, kaedah formula empirik yang sesuai telah digunakan berdasarkan kajian lepas yang telah dinyatakan sumbernya di dalam kajian literatur. Ciri-ciri hidrologi seperti data hujan, evaporasi, suhu, radiasi, dan angin diperolehi daripada Jabatan Meteorologi, Kuala Lumpur. Data yang diambil untuk analisis kajian adalah untuk tempoh 10 tahun, bermula Januari 2007 hingga Disember 2016. Data-data tersebut digunakan untuk menentukan air masuk dalam tanah. Lokasi stesen hujan yang dipilih adalah di Lapangan Terbang, Kuantan, Pahang, $N 103^{\circ} 13'$, $E 3^{\circ} 47'$, kerana radius kawasan kajian dengan stesen adalah 15 km dan tidak melebihi 20 km (Rajah 1.3).



Rajah 1.3: Peta Stesen Hidrologi Pahang, (Sumber, *Jabatan Pengairan & Saliran Pahang*)

2.0 KAJIAN LITERATUR

Air bawah tanah merupakan salah satu bekalan air untuk aktiviti seperti perbandaran atau pembangunan, pertanian dan juga perindustrian. Air bawah tanah terhasil secara semulajadi dan terletak di bawah permukaan bumi. Air ini bergerak melalui liang-liang dalam tanah dari kawasan keupayaan tinggi kepada kawasan yang keupayaan rendah dan pergerakan air sangatlah perlahan bergantung kepada struktur atau jenis tanah kawasan tersebut. Menurut kajian oleh Detay (1997), beliau menyatakan bahawa 97 % atau 1320×10^6 km³ air dalam tanah disumbang oleh laut. Laut merupakan salah satu daripada hidrologi air permukaan yang merangkumi penilaian intensity hujan, aliran air sungai dan aras air tasik manakala aras air bawah tanah adalah di bawah kategori hidrologi air bumi (Bujang, *et. al.*, 2002).

Lazimnya, tanah-tanah yang berada di bawah aras air bumi adalah tepu sepenuhnya di mana keseluruhan lompong tanah dipenuhi air. Aras air bumi ini boleh diukur dengan menggunakan kaedah penggalian telaga cerapan atau piezometer tegak (Bujang, *et. al.*, 2002). Secara teknikalnya, air yang berada di bawah aras air bumi merupakan air bumi yang sebenarnya. Oleh itu, kehadiran air permukaan sangat berperanan mempengaruhi aras air bumi dan air bawah tanah

2.1 Air Masuk Bawah Tanah

Air masuk bawah tanah dan keupayaan akuifer adalah isu – isu penting dalam penyiasatan sumber air. Air tanah merupakan suatu sistem yang dinamik iaitu berubah-ubah mengikut keadaan dan struktur tanah tersebut. Kedudukan air bawah tanah adalah berada dibawah permukaan tanah. Menurut kajian yang dijalankan oleh Kumar (1997), beliau menyatakan bahawa air tanah yang bergerak di dalam tanah boleh dikawal oleh beberapa faktor iaitu dari segi kawalan turun-naik air tanah dan air masuk bawah tanah. Aliran air masuk bawah tanah ini dipengaruhi oleh jenis lapisan tanah sesebuah kawasan. Air masuk bawah tanah berlaku pada skala yang kecil dan skala besar di mana sebahagiannya dipengaruhi oleh faktor seperti meteorologi, ciri-ciri tanah, lapisan permukaan tanah, kecerunan, dan kedalaman aras air bumi (Bouwer, 1978; Shukla & Jaber, 2006; Sumioka & Bauer, 2003).

Air masuk bawah tanah ialah air yang terhasil daripada air hujan, kadar penyejatan, evapotranspirasi dan air larian kemudiannya meresap ke dalam tanah melalui proses hidrologi ke kawasan air bumi. Air masuk bawah tanah ialah parameter yang menunjukkan bilangan air yang meresap atau menusuk ke dalam tanah. Sumber utama yang menyebabkan air masuk dalam tanah ialah pemendakan/air hujan. Malaysia merupakan negara yang beriklim panas dan lembap sepanjang tahun, taburan hujan yang tinggi menyebabkan kadar lembapan yang tinggi. Air masuk bawah tanah dapat ditentukan secara meluas dalam pelbagai kaedah atau cara. Antara kaedah yang biasa digunakan dalam menganggarkan air masuk bawah tanah adalah seperti kaedah imbalan-air, kaedah satah fluks sifar, kaedah satu-dimensi dan kaedah data iklim (Nwabineli, *et al* (2012).

2.2 Kaedah Data Iklim

Kaedah ini biasa digunakan oleh Jabatan Meteorologi di dalam menentukan air masuk bawah tanah. Menurut kajian yang dijalankan oleh Nwabinele, *et al* (2012), beliau menyatakan bahawa nilai tinggi dan rendah air masuk bawah tanah bergantung kepada kapasiti hujan yang turun di kawasan kajian dan jenis tanah kawasan yang dikaji. Formula yang diterbitkan oleh Nwabinele, *et al* (2012) dapat ditunjukkan pada persamaan (2.2) dan hubungan pekali bagi jenis tanah dapat ditunjukkan pada Jadual 2.1

$$R = \alpha (P - P_0)^{1.0} \quad (2.2)$$

Dimana;

- R = Air Masuk Bawah Tanah
- α = Pekali bergantung kepada jenis tanah
- P = Air hujan (mm/tahun)
- P_0 = Jumlah Air atau Indeks Penyusupan dan biasanya dianggap Kadar adalah 0.10 cm/jam

Jadual 2.1: Pekali Untuk Jenis Tanah (Barlow, 1948)

Bilangan	Jenis Tanah	Pekali
1	Tanah Berpasir dan lempung berpasir	0.17- 0.25
2	Aluvium pantai dan Lempung Berkelodak	0.25 – 0.3
3	Tanah Merah, Lempung liat, kelabu dan alluvium keperangan	0.42
4	Tanah liat	0.42 – 0.46
5	Tanah berbukit	0.46 – 0.50

2.3 Evapotranspirasi, ET

Evapotranspirasi ditakrifkan sebagai kehilangan turus ke atmosfera melalui gabungan proses penyejatan dari tanah, tumbuhan dan transpirasi dari tumbuh-tumbuhan (Fetter, 1988). Evapotranspirasi atau juga dikenali sebagai sejat peluhan berlaku melalui proses perpeluhan, dan penyejatan tanah serta potensi penyejatan pintasan hujan (Ryan J. *et. al.*, 2015). Evapotranspirasi ini berlaku kerana tekanan wap pada sel –sel permukaan daun lebih tinggi berbanding dengan tekanan udara di atmosfera. Istilah sejat peluhan dari sudut hidrologiadalah merujuk kepada kehilangan air dari proses sejatan secara langsung, sejatan dari tanah dan proses perpeluhan dari tumbuhan.

Evapotranspirasi terbahagi kepada dua iaitu evapotranspirasi potensi dan evapotranspirasi sebenar. Menurut Thornthwaite (1948), evapotranspirasi potensi terhasil daripada kuantiti air yang boleh disejatkan daripada permukaan tanah dan perpeluhan daripada tumbuhan.

Manakala takrifan bagi evapotranspirasi sebenar adalah merujuk kepada kuantiti air yang sebenarnya disejatkan daripada tanah dan perpeluhan tumbuhan dalam satu jangka masa yang tertentu di bawah keadaan lembapan tanah dan litupan tumbuhan yang berubah-ubah. Komponen sejat-transpirasi potensi (*PET*) adalah bergantung kepada perubahan dalam struktur tumbuh-tumbuhan (Ryan *J.et. al.*, 2015). Air mudah hilang dalam tumbuhan yang ditanam sekiranya kandungan air tanah tetap pada kadar optima. Kebiasaannya, *PET* ditentukan oleh angkubah iklim seperti suhu, kelembapan bandingan, tutupan awan, kelajuan angin yang mempengaruhi perbezaan tekanan wap air antara tanah, daun, kawasan berair dan atmosfera. Di dalam menentukan sejat-transpirasi potensi (*PET*), formula yang dijalankan oleh *Thornthwaite Equation* (1948) telah dijalankan melalui persamaan (2.3).

$$PET = 1.6b (10t/I)^a \quad (2.3)$$

Di mana;

- PET = Sejat-transpirasi potensi
- b = Faktor pembetulan setiap bulan
- t = Suhu
- I = $i_1+i_2+\dots+i_{12}$
- i = $(t/5)^{1.514}$ (Indeks kepanasan setiap bulan)
- a = $6.75 \times 10^{-7} \times i^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times i^2 + 17.92 \times 10^{-3} \times i + 0.49$

2.4 Air Larian Permukaan, Ro

Air larian permukaan adalah aliran air yang berlaku disebabkan kehadiran air hujan atau sumber dari air bukit, tasik atau sungai. Air larian permukaan berlaku terhadap permukaan tanah sebelum menghampiri saluran atau juga dikenali sebagai sumber *non-point*. Kawasan yang menghasilkan air larian permukaan dikenali sebagai lembangan saluran. Faktor yang mempengaruhi kadar air larian permukaan sesuatu kawasan terbahagi kepada dua iaitu daripada faktor meteorologi dan ciri-ciri fizikal kawasan tersebut.

Faktor meteorologi berpandu kepada jenis pemendakan (hujan, salji, dan lain-lain), keamatan hujan, jumlah hujan, tempoh hujan, arah pergerakan angin, lain-lain meteorologi dan keadaan iklim yang mempengaruhi evapotranspirasi, suhu, angin, sertakelembapan. Manakala faktor ciri-ciri fizikal pula ialah guna tanah, tumbuh-tumbuhan, jenis tanah, kawasan tadahan, bentuk tadahan, topografi atau bentuk muka bumi dan sungai, tasik, tangki serta lain-lain yang boleh melambatkan air larian permukaan ke kawasan hilir.

Air larian permukaan yang tinggi boleh mengakibatkan hakisan pada struktur tanah. Kadar air larian permukaan adalah bergantung kepada nisbah hujan pada kawasan tersebut, kadar penyusupan air ke dalam tanah dan kecerunan kawasan tersebut. Air larian permukaan dapat ditentukan dengan pelbagai kaedah empirik. Jumlah air larian permukaan telah ditentukan oleh Mohd Shalahuddin (2008) iaitu melalui persamaan (2.4).

$$R_o = \frac{1.511 \times P^{1.44}}{T_m^{1.34} \times A^{0.0613}} \quad (2.4)$$

Dimana;
 (cm/tahun)

R_o = Air larian Permukaan

- P = Air Hujan (cm/tahun)
 T_m = Purata Suhu Tahunan ($^{\circ}C$)
 A = Luas (km^2)

Anggaran air larian permukaan tersebut sesuai untuk kawasan tadahan di pedalaman. Kaedah lain yang digunakan adalah kaedah lengkung nombor (CN) atau juga dikenali sebagai air larian lengkung nombor. Di dalam kaedah ini, parameter empirik digunakan untuk menentukan air larian atau penyusupan daripada lebihan hujan. Lengkung nombor ini dihasilkan oleh USDA (*Natural Resources Conservation Service*) atau juga dikenali sebagai SCS (*Soil Conservation Service*).

Menurut United States Departments of Agriculture (1986) melalui kajian yang telah dijalankan, kaedah ini telah digunakan secara meluas di dalam menentukan jumlah air larian permukaan bagi kawasan tertentu. Kaedah ini digunakan berdasarkan kumpulan hidrologi tanah, guna tanah, rawatan dan keadaan hidrologi. Air larian permukaan dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.5) atau menggunakan graf yang melibatkan hubungan air hujan (inchi) dengan nilai lengkung nombor (CN) sebagaimana ditunjukkan dalam Rajah 2.1.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (2.5)$$

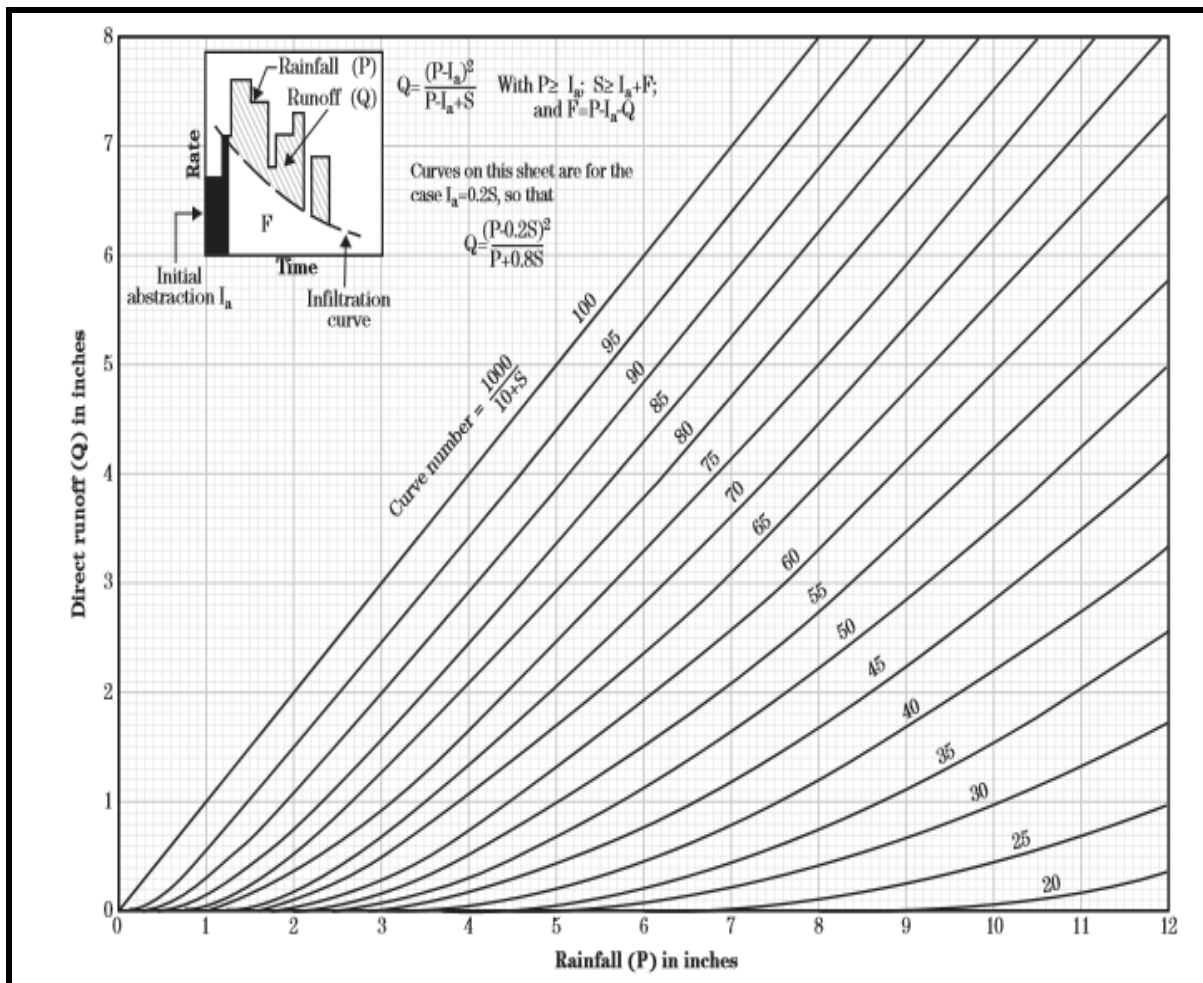
- Dimana; Q = Air larian permukaan (inchi)
 P = Air hujan (inchi)
 S = Kandungan air tanah maksimum yang tertahan selepas air larian bermula (inchi)
 S : = $(1000 / CN) - 10$
 CN : = Nilai antara 30 hingga 100; bergantung kepada jenis kumpulan tanah

Menurut kajian yang dijalankan oleh Schicht dan Walton (1961), beliau telah membangunkan hasil kajian beliau di dalam menganggarkan air larian permukaan berdasarkan hubungan nilai evapotranspirasi, PET dan air masuk bawah tanah, R . Persamaan yang digunakan adalah mengikut budget air bagi kawasan tersebut.

Persamaan tersebut dapat ditunjukkan melalui Persamaan (2.6).

$$R_o = P - PET - R \quad (2.6)$$

- Dimana;
- R_o = Air larian permukaan (mm/tahun)
 - P = Air hujan (mm/tahun)
 - PET = Evapotranspirasi
 - R = Air masuk bawah tanah (mm/tahun)



Rajah 2.1: Graf Hubungan Air Hujan dengan Air Larian Permukaan United States Departments of Agriculture (1986)

2.5 Kajian Literatur Terdahulu

et al. (2013), telah membentangkan hasil kajian mengenai “*Menganggarkan Aliran Air Masuk Bawah Tanah Menggunakan Kaedah Empirik: Kajian Kes di Zon Tropika*”. Hasil kajian yang diperolehi menunjukkan kadar purata air masuk bawah tanah adalah sebanyak 326.39 mm per tahun, manakala purata pekali air masuk bawah tanah adalah sebanyak 18%. Data hidrologi kawasan kajian yang telah dijalankan oleh Saghravani, *et al.* (2013) dapat

ditunjukkan pada Jadual 2.2.

Jadual 2.2: Keputusan Data Hidrologi

Tahun	Hujan (mm/tahun)	Evapotraspirasi, PET (mm/tahun)	PET/P (mm/yr)	Air Masuk Bawah Tanah (mm/tahun)	Hujan Berkesan (mm/tahun)	Pekali Air Masuk Bawah tanah (%)	Air Larian Permukaanmm/tahun)
2000	2635	1370.08	52.00	324.87	1807.97	18	940.05
2001	2633.47	1433.32	54.43	324.61	1806.96	18	875.54
2002	2315.21	1446.78	62.49	301.24	1561.08	19	567.18
2003	3040.13	1402.84	46.14	352.55	2132.08	17	1284.73
2004	2750.57	1462.02	53.15	332.99	1912.87	17	955.55
2005	2175.76	1459.99	67.10	290.32	1458.72	20	425.45
2006	2427.99	1434.08	59.06	309.63	1642.36	19	684.02
2007	2996.44	1424.69	47.55	349.76	2097.02	17	1221.99
2008	2590.04	1433.32	55.34	321.56	1781.3	18	835.15
2009	2666.49	1432.81	53.73	327.15	1833.12	18	906.53
2010	3076.19	1466.6	47.68	354.84	2160.78	16	1254.51
Purata	2664.21	1433.32	54.42	326.39	1807.97	18	904.75

Sumber : Saghravani, *et al.* (2013)

Jadual 2.3: Keputusan Purata Data Hidrologi (1998 – 2007)(Mohd Shalahuddin, 2008)

Hujan (mm/tahun)	Evapotranspirasi (mm/tahun)	Air Larian Permukaan (mm/tahun)	Air Masuk Bawah Tanah (mm/tahun)
2231.9	1372	342	517.9

Jadual 2.4: Keputusan Data Hidrologi Nwabineli, *et al* (2012)

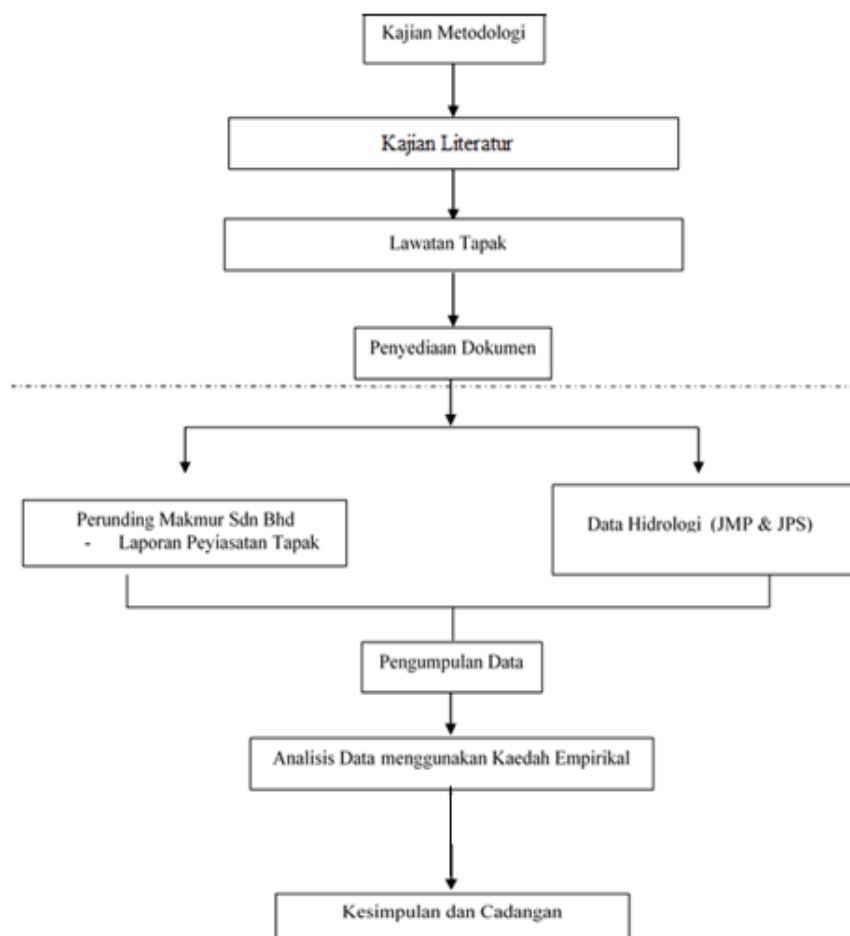
Lokasi Kajian	Hujan (mm/tahun)	Air Masuk Bawah Tanah (mm/tahun)	Pekali Air Masuk Bawah Tanah (%)
Awe Formation	1714	305	17
Lafia sands Formation	1995.93	418.9	21

Jadual 2.5: Keputusan Purata Data Hidrologi (2007 -2012) (Rizalman, 2013)

Tahun	Hujan (mm/tahun)	Evapotranspirasi (mm/tahun)	Air Larian Permukaan (mm/tahun)	Air Masuk Bawah Tanah (mm/tahun)
2007	3473.6	1658.33	1057.98	757.3
2008	3337.5	1657.10	1000.46	680
2009	3707.0	1659.74	1159.74	887.4
2010	2319.0	1675.54	578.01	65.4
2011	3242.6	1651.48	967.4	623.7
2012	3283.8	1649.95	986.8	647
Purata	3227.3	1658.69	958.43	610.13

3.0 METODOLOGI KAJIAN

Metodologi kajian sangat penting dalam pelaksanaan keberkesanan sesuatu kerja untuk mendapatkan hasil yang terbaik dan juga untuk mengelakkan sesuatu masalah timbul semasa kajian dijalankan. Dengan adanya metodologi kajian, maka kerja yang dijalankan lebih efisien dan lebih mudah. Secara ringkasnya, metodologi bagi kajian ini telah dibahagikan kepada empat peringkat iaitu peringkat perancangan, peringkat pengumpulan data, peringkat analisis dan peringkat kesimpulan dan cadangan seperti Rajah 3.



Rajah 3: Carta Metodologi

*Nota: JMP = Jabatan Meteorologi Pahang, JPS = Jabatan Pengairan dan Saliran

3.1 Pengumpulan Data

Dalam kajian yang dilakukan, kaedah penyediaan data terbahagi kepada dua iaitu melalui Perunding Makmur Sdn Bhd dan data hidrologi yang diperolehi daripada Jabatan Meteorologi Pahang juga Jabatan Pengairan dan Saliran Pahang. Data yang diperolehi dianalisis berdasarkan kepada kaedah empirik yang dibangunkan oleh pengkaji-pengkaji sebelum ini. Keseluruhan data dibandingkan dengan kajian sebelum ini untuk menghasilkan

hasil keputusan yang betul dan sah.

3.1.1 Data Hidrologi

Data hidrologi merupakan data yang digunakan untuk menentukan data hujan, pemendakan, sejatan, aras air dan kadar alir kawasan kajian. Data-data tersebut dibahagikan kepada beberapa stesen hidrologi mengikut daerah. Stesen kajian yang digunakan adalah stesen Kuantan bypass kerana ianya berhampiran dengan lokasi kajian. Daripada data hidrologi, pengkaji dapat menentukan data hujan tahunan, evapotranspirasi, air larian permukaan dan air masuk bawah tanah. Kadar air masuk bawah tanah dapat ditentukan berdasarkan persamaan (2.2). Persamaan tersebut diterbitkan melalui kajian yang dijalankan oleh Nwabinehi, et al (2012).

3.1.2 Laporan Penyiasatan Tapak

Laporan penyiasatan tapak perlu ada didalam menentukan klasifikasi jenis tanah kawasan kajian. Di dalam laporan penyiasatan tapak, pengkaji dapat menentukan jenis tanah kawasan kajian serta digunakan untuk menganalisis air masuk bawah tanah. Jenis tanah diperolehi berdasarkan analisis lubang jara yang telah dibuat oleh kontraktor kawasan kajian dan Perunding Makmur bertindak sebagai perunding di dalam pengesahan dan pengawasan kerja-kerja tanah dan pembinaan perumahan Sungai Isap, Kuantan. Berdasarkan hasil lubang jara yang diperolehi menunjukkan kedalaman 0 m – 5 m kawasan kajian adalah jenis tanah berpasir dan paras air bumi menunjukkan pada kedalaman 6.8 m – 8.4 m dari permukaan bumi. Jenis tanah tersebut digunakan untuk menentukan pekali air masuk bawah tanah dengan merujuk Jadual 2.2 iaitu kajian yang dijalankan oleh Barlow (1948).

4.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Analisis data adalah merupakan peranan penting dalam menentukan hasil kajian yang telah dijalankan. Melalui analisis yang telah dijalankan, kita dapat menyimpulkan hasil kajian adalah memenuhi objektif yang dikehendaki. Analisis yang berkaitan dengan tajuk kajian adalah untuk menentukan air masuk bawah tanah di perumahan Sungai Isap, Kuantan.

Di dalam penyelidikan ini, aliran air masuk bawah tanah, pekali aliran masuk dan keberkesanan hujan telah ditentukan melalui kajian kes yang menggunakan kaedah empirikal berkenaan zon tropika. Data yang berkaitan dengan klimatologi antara Januari 2007 dan Disember 2016 telah dikumpulkan berdasarkan Stesen Hujan Kuantan.

4.1 Hujan

Malaysia terletak pada zon tropika di mana kadar hujan tahunan adalah dianggarkan 3000 mm setahun. Menurut kajian yang dijalankan oleh Hj. Keizrul (1998), beliau menyatakan bahawa jumlah hujan tahunan ialah 990 juta persegi, manakala kadar hujan

berkesan dan air masuk bawah tanah masing-masing 660 dan 64 juta meter persegi.

Hasil daripada data meteorologi kawasan kajian bagi tempoh Januari 2007 dan Disember 2016, didapati taburan hujan tahunan adalah antara 2319 mm hingga 3804 mm. Hasil taburan hujan tahunan menunjukkan penurunan hujan adalah berlaku pada tahun 2010 iaitu sebanyak 2319 mm per tahun manakala kadar hujan tertinggi adalah pada tahun 2013, iaitu sebanyak 3804.5 mm per tahun, manakala purata hujan tahunan bagi tempoh 10 tahun dari Januari 2007 dan Disember 2016 menunjukkan kadar hujan adalah sebanyak 3334 mm per tahun. Hasil dan keputusan analisis dapat dilihat pada Jadual 4.1.

Jadual 4.1: Keputusan Nilai Hujan (mm / tahun)

Tahun	Hujan (mm)
2007	3473.6
2008	3337.5
2009	3707.0
2010	2319.0
2011	3242.6
2012	3283.8
2013	3804.5
2014	3778.3
2015	3160.2
2016	3233.7
Purata	3334.0

4.5 Anggaran Air Larian Permukaan, *Ro*

Air larian permukaan merupakan salah satu parameter yang diperlukan didalam menentukan air masuk bawah tanah kawasan kajian. Air larian permukaan telah diperolehi berdasarkan formula yang diterbitkan oleh Schicht dan Walton (1961). Daripada hasil analisis yang telah dijalankan, nilai air larian permukaan kawasan kajian adalah antara 158.2 mm/tahun hingga 1355.9 mm/tahun dari tahun 2007 dan 2016.

Nilai purata tahunan air larian permukaan adalah sebanyak 976.5 mm/tahun iaitu sebanyak 29% daripada hujan tahunan. Ini menunjukkan kadar air larian permukaan kawasan kajian adalah tidak terlalu tinggi disebabkan keadaan bentuk muka bumi yang mendatar dan air larian tersebut telah menyerap ke dalam tanah melalui tumbuh-tumbuhan asal sebelum menyusur ke tasik berhampiran kawasan kajian. Hasil keputusan air larian permukaan dapat dilihat pada Jadual 4.2.

Jadual 4.2: Keputusan Air Larian Permukaan (mm/tahun)

Tahun	Air Larian Permukaan (mm/tahun)
2007	1085.9
2008	979.5
2009	1277.3

2010	158.2
2011	902.8
2012	936.1
2013	1355.9
2014	1334.8
2015	836.4
2016	895.7
Purata	976.5

4.3 Anggaran Evapotranspirasi, *PET*

Evapotranspirasi terhasil daripada sejat-transpirasi kawasan kajian. Nilai evapotranspirasi diperolehi daripada formula yang diterbitkan oleh Thornthwaite (1948). Berdasarkan hasil analisis yang diperolehi, didapati nilai evapotranspirasi dari tahun 2007 dan 2016 adalah antara 1643.4 mm/tahun hingga 1682.8 mm/tahun. Ini menunjukkan kadar evapotranspirasi di kawasan kajian adalah tinggi.

Kadar evapotranspirasi adalah dipengaruhi oleh suhu sekeliling. Menurut kajian yang dijalankan oleh Xi *et al.* (2008), beliau menyatakan bahawa semakin tinggi nilai suhu, semakin besar kemampuan udara untuk menyerap wap air. Selain daripada itu, suhu yang tinggi juga akan menunjukkan bahawa tenaga kinetik molekul air meningkat, sehingga molekul air semakin banyak yang berpindah ke lapisan udara dalam bentuk wap air.

Nilai yang diperolehi menunjukkan kadar evapotranspirasi yang berlaku di kawasan kajian adalah trend yang sekata setiap tahun walaupun kadar hujan pada tahun 2010 adalah berkurangan sedikit berbanding tahun sebelumnya. Purata nilai evapotranspirasi tahunan bagi tempoh 10 tahun adalah sebanyak 1655.9 mm/tahun iaitu 49.7% daripada nilai hujan tahunan. Nilai evapotranspirasi bagi kawasan kajian dapat dilihat pada Jadual 4.3.

Jadual 4.3: Keputusan Nilai Evapotranspirasi (mm/tahun)

Tahun	Evapotranspirasi (mm)	Suhu (°C)
2007	1652.2	26.9
2008	1655.8	26.8
2009	1646.0	26.9
2010	1682.8	27.3
2011	1658.3	26.7
2012	1657.2	26.6
2013	1643.4	26.8
2014	1644.1	26.9
2015	1660.5	27.1
2016	1658.5	27.4
Purata	1655.9	26.9

4.4 Anggaran Air Masuk Bawah Tanah, R

Berdasarkan hasil analisis yang diperolehi bagi tahun 2007 hingga 2016, nilai air masuk bawah tanah adalah antara 489.97 mm/tahun hingga 798.0 mm/tahun. Nilai air masuk bawah tanah adalah sedikit pada tahun 2010 kerana disebabkan kehadiran hujan tahunan yang rendah iaitu sebanyak 2319 mm/tahun. Anggaran nilai purata tahunan air masuk bawah tanah bagi tempoh 10 tahun adalah sebanyak 700.4 mm/tahun iaitu 21% daripada hujan tahunan. Berdasarkan kajian yang dijalankan oleh Misstear et. al.(2009), kadar air masuk bawah tanah kawasan kajian yang diperolehi adalah tinggi.

Kadar air masuk bawah tanah adalah tinggi disebabkan oleh kadar hujan tahunan kawasan kajian adalah tinggi sepanjang tahun iaitu sebanyak 3334 mm/tahun, dan turut dibuktikan oleh (Shukla & Jaber 2006; Sumioka & Beuer 2003) yang menyatakan disebalik tinggi dan rendah air masuk bawah tanah bergantung kepada hujan tahunan, jenis tanah dan faktor parameter yang menutupi permukaan tanah seperti turapan, rumput, longkang, bangunan dan sebagainya. Menurut Leduc et al (2001), beliau menyatakan bahawa sebarang kerja penambakan tanah atau pembajakan tanah juga mengakibatkan struktur tanah akan berubah dan kadar air masuk bawah tanah juga akan berubah.

Nilai air masuk bawah tanah yang diperolehi oleh pengkaji adalah berada di dalam lingkungan julat yang diperolehi oleh kajian Rizalman (2013) iaitu 65.4 mm/tahun hingga 887.4 mm/tahun. Purata air masuk bawah tanah yang diperolehi Rizalman (2013) adalah sebanyak 610.13 mm/tahun iaitu 18.9 % daripada nilai purata hujan tahunan. Nilai keputusan air masuk bawah tanah dan peratus air masuk bawah tanah dapat ditunjukkan pada Jadual 4.4.

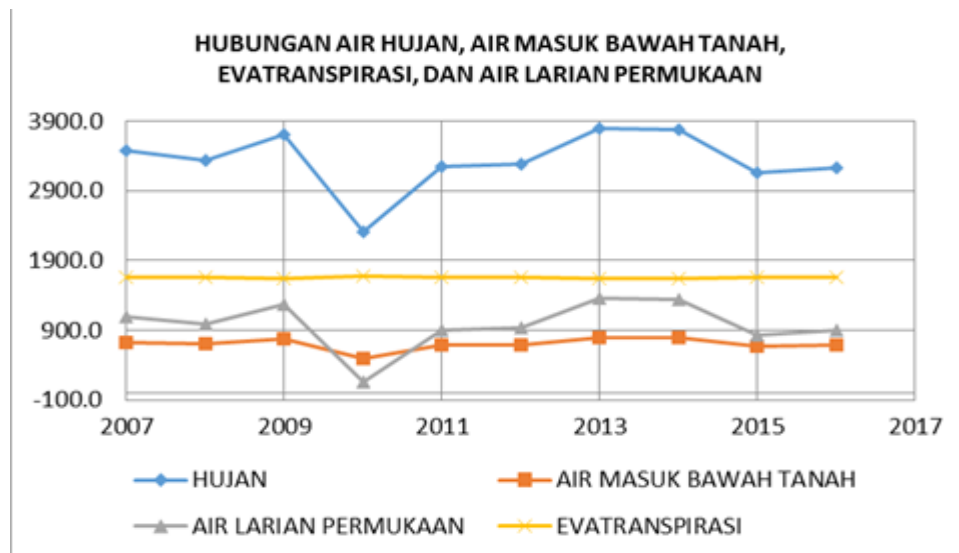
Jadual 4.4: Keputusan Air Masuk Bawah Tanah (mm/tahun)

Tahun	Air Masuk Bawah Tanah (mm)
2007	729.3
2008	701.1
2009	777.8
2010	489.7
2011	681.4
2012	689.9
2013	798.0
2014	792.6
2015	664.3
2016	679.5
Purata	700.4

4.5 Data Keseluruhan

Data yang dianalisis bagi kawasan kajian adalah meliputi taburan hujan bagi tempoh 10 tahun iaitu bermula Januari 2007 hingga Disember 2016. Trend bagi nilai evapotranspirasi menunjukkan nilai yang sekata bagi setiap tahun. Bagi nilai parameter hidrologi seperti hujan dan air larian permukaan pula yang diperolehi adalah berubah-ubah dan menurun pada tahun 2010 dan menunjukkan trend yang sama hubungannya.

Namun begitu, kadar penurunan hujan pada tahun 2010 berlaku bagi parameter air masuk bawah tanah, dan air larian permukaan kerana taburan hujan bulanan pada tahun tersebut tidak terlalu tinggi berbanding tahun-tahun yang lain. Manakala, bagi air masuk bawah tanah menunjukkan trend naik dan turun mengikut kadaran hujan di kawasan kajian dan nilai yang rendah jika dibandingkan dengan parameter hidrologi yang lain. Keseluruhan trend data analisis dapat ditunjukkan secara jelas pada Rajah 4.4.



Rajah 4.4: Hubungan Parameter Hidrologi Mengikut Tahun (2007 – 2016)

4.6 Korelasi Data Iklim

Dalam kajian yang dijalankan, korelasi yang diwujudkan berdasarkan kepada kategori nilai penentu yang dibahagikan kepada empat bahagian, di mana rumusnya R^2 melebihi 0.26 iaitu agak baik dan kategori kurang 0.25 iaitu kurang baik. Oleh itu, korelasi yang terhasil dapat ditunjukkan seperti yang dicadangkan oleh Aminaton (1996) dalam Jadual 4.5 (a) dan Jadual 4.5 (b) menunjukkan korelasi data iklim kawasan kajian yang diperolehi. Korelasi ini berguna bagi tujuan pengkaji-pengkaji pada masa akan datang mempercepatkan proses rekabentuk sesuatu kawasan yang dipilih.

Jadual 4.5 (a): Ketepatan Korelasi (Aminaton, 1996)

Nilai R ²	Jenis Korelasi
< 0.25	Kurang baik
0.26 – 0.55	Agak baik
0.56 – 0.80	Baik
>0.80	Sangat Baik

Jadual 4.5 (b): Korelasi Data Iklim Kawasan Kajian

Korelasi	Persamaan	R ²	Jenis Korelasi
Hujan tahunan, P & Air masuk bawah tanah, R	$P = 4.8176 (R) - 40.036$	1	Sangat Baik
Hujan tahunan, P & Air larian permukaan, Ro	$P = 0.8063 (Ro) - 1711.7$	0.9997	Sangat Baik
Hujan tahunan, P & Evapotranspirasi, PET	$P = -37.669 (PET) + 65709$	0.5217	Agak Baik
Air larian permukaan, Ro & Air masuk bawah tanah, R	$Ro = 3.8842(R) - 1743.8$	0.9995	Sangat Baik
Air masuk bawah tanah, R & Evapotranspirasi	$R = -7.7893(PET) + 13598$	0.5178	Agak Baik
Angin, W & Evapotranspirasi, PET	$W = -0.0093(PET) + 17$	0.5219	Agak Baik
Suhu, C & Evapotranspirasi, PET	$C = 0.0268 (PET) - 17.628$	0.9998	Sangat Baik
Air Masuk bawah tanah, R & Suhu (C)	$R = -289.85(C) + 8465.1$	0.516	Agak Baik
Air larian permukaan, Ro & Suhu (C)	$Ro = -1149.1(C) + 31761$	0.5373	Agak Baik

5.0 KESIMPULAN

Masalah banjir kilat yang berlaku di kawasan pembangunan tidak kira kawasan baru atau lama seringkali menjadi perbualan dan persoalan bagi pihak berkuasa tempatan, jurutera air dan saliran, serta jurutera geoteknik di dalam mengenalpasti punca berlakunya banjir kilat. Kadar curahan hujan yang tinggi disuatu kawasan menyebabkan air larian menjadi tinggi dan selebihnya akan menyusup ke dalam tanah atau diserap oleh tumbuh-tumbuhan. Jumlah air yang menyusup ke dalam tanah itu dikenali sebagai air masuk bawah tanah. Walaupun pengaruh air masuk bawah tanah tidak terlalu tinggi di dalam kitaran hidrologi berbanding nilai evapotranspirasi, air larian dan air hujan, tetapi sedikit sebanyak boleh mempengaruhi kadar peningkatan air bumi disuatu kawasan.

Sekiranya kawasan tersebut mempunyai aras air bumi dengan permukaan bumi tidak terlalu jauh, maka tidak mustahil banjir kilat mungkin akan terjadi. Oleh itu, kajian terhadap air masuk bawah tanah perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum sebarang kerja-kerja pembinaan dijalankan kerana apabila jumlah air masuk bawah tanah terlalu tinggi, maka ia akan mempengaruhi kenaikan air bumi di sesuatu kawasan yang boleh menyebabkan banjir besar akan berlaku.

Daripada analisis yang telah dijalankan, beberapa kesimpulan telahpun dibuat berdasarkan data iklim dan formula empirik yang telah digunakan di dalam menentukan kadar air masuk bawah tanah. Kadar air masuk bawah tanah diperolehi berdasarkan kitaran hidrologi yang mana analisis tersebut melibatkan hujan tahunan, kadar evapotranspirasi potensial, dan kadar air larian permukaan kawasan kajian. Kuantan merupakan ibu negeri Pahang dan kadar hujan tahunan yang diperolehi daripada data Meteorologi Pahang menunjukkan taburan hujan yang turun di kawasan kuantan adalah di antara 2000 mm/ tahun hingga 3500 mm/tahun. Daripada analisis yang telah dijalankan oleh pengkaji bagi tempoh 10 tahun dari Januari 2007 hingga Disember 2016 telah menunjukkan kadar hujan tahunan sekitar Kuantan dan kawasan kajian adalah sebanyak 3334 mm/tahun.

Evapotranspirasi merupakan salah satu data iklim yang mempengaruhi kadar air masuk bawah tanah kawasan kajian. Evapotranspirasi terbahagi kepada dua jenis iaitu evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi sebenar. Kedua-dua nilai evapotranspirasi menunjukkan pengaruh masing-masing. Pengkaji telah menggunakan evapotranspirasi potensial di dalam analisis menentukan air masuk bawah tanah. Daripada analisis yang diperolehi menunjukkan nilai evapotranspirasi kawasan kajian adalah sebanyak 1655.9 mm/tahun. Peratusan yang diperolehi berbanding kadar hujan tahunan adalah sebanyak 49.7%, Daripada nilai yang diperolehi menunjukkan kadar evapotranspirasi kawasan kajian adalah tinggi di mana menunjukkan keupayaan tenaga terhasil digunakan untuk mengangkut wap air dari tanah melalui angin ke atmosfera.

Air larian permukaan juga mempengaruhi kadar air masuk bawah tanah. Nilai tinggi dan rendah air larian permukaan bergantung kepada berapa banyak kadar air masuk bawah tanah kawasan tersebut. Nilai purata air larian permukaan kawasan kajian bagi tempoh 10 tahun adalah sebanyak 976.5 mm/tahun iaitu sebanyak 29% berbanding air hujan yang turun di kawasan kajian. Ini menunjukkan nilai air larian permukaan kawasan kajian adalah rendah. Hal ini disebabkan kerana melalui pengamatan didapati kawasan kajian mempunyai pokok-pokok dan rumput-rumput asal yang masih sedia ada dan air hujan yang turun telah meresap ke dalam tanah sebelum menjadi air larian.

Nilai air masuk bawah tanah yang telah dianalisis bagi pengkaji adalah menggunakan kaedah persamaan hidrologi. Daripada hasil laporan lubang jara yang diperolehi menunjukkan tanah kawasan kajian adalah jenis tanah kelodak berpasir. Hasil analisis air masuk bawah tanah yang diperolehi menggunakan data hidrologi dan data iklim bagi tempoh 10 tahun bermula Januari 2007 hingga Disember 2016 adalah sebanyak 700.4 mm/tahun.

Jumlah air masuk bawah tanah yang diperolehi adalah sebanyak 21% berbanding purata hujan tahunan. Ini menunjukkan kadar air masuk bawah tanah adalah tidak terlalu tinggi jika dibandingkan dengan kadar hujan tahunan yang turun adalah sebanyak 3334 mm/tahun. Sekiranya pembangunan kawasan kajian tidak mengambil kira jumlah air masuk bawah tanah dan melakukan sistem saliran yang tidak betul, maka tidak mustahil banjir kilat akan melanda kawasan tersebut kerana menurut laporan lubang jara mendapati aras air bumi adalah antara kedalaman 6.8 m – 8.4 m dari permukaan bumi.

6.0 PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan kepada institusi-institusi berikut di atas sumbangan mereka:-

- i. Perunding Makmur Sdn. Bhd. Kuantan, Pahang
- ii. Jabatan Jabatan Meteorologi Pahang
- iii. Jabatan Pengairan dan Saliran Pahang

7.0 RUJUKAN

- Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38 (1): 55–94. doi:10.2307/210739
- Schicht, R.J. & Walton, W.C. (1961). Hydrologic budgets for three small watersheds in Illinois. In Report of Investigation. Urbana, State of Illinois: State Water Survey Division. p. 40.
- Kumar, C.P. (1977). Estimation of natural ground water recharge. *ISH Journal of Hydraulic Engineering* 3(1): 61-74.
- Bouwer, H. (1978). *Groundwater Hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Duecker, K. J., (1979), *Land Resource Information Systems: A Review of Fifteen Years Experience; Geo-Processing*, Vol. 1, No. 2, pp. 105-128.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A. & Paulhus, J.L.H. (1982). *Hydrology for Engineers*. McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. New York: McGraw Hill.
- US Soil Conservation (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds, Second Edition*. Technical release 55 (TR-55), Natural Resources Conservation Service, Conversation Engineering Division, United State Department of Agriculture.
- Star, Jeffrey & Estes, John (1990), *Geographic Information System: An Introduction*, Prentice Hall Inc., New Jersey
- Bujang, K.H, Ahmad Jusoh dan Shukri Maail (1991). *Pengelasan Mekanik Tanah*. Edisi Pertama. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.

- Craig, R. F (1993). Mekanik Tanah. Terjemahan Soil Mechanics oleh Aminanton Marto, Fatimah Mohd Noor dan Fauziah Kasim, Edisi ke-4, Unit Penerbitan Akademik, UTM
- Aminanton Marto. (1996). Volumetric Compression of a Silt under Periodic Loading. University of Bradford: Tesis Ph.D
- M. Deday (1997). Water Wells: Implementation, Maintenance Restoration. John Wiley
- Ruslan Rainis & Noresah Mohd Shariff (1998). Sistem Maklumat Geografi. Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Fetter. C.W (1998). Applied Hydrogeology Second Edition. Merrill Publishing Company. Columbus Ohio. 592p.
- Ruslan Rainis & Noresah Mohd Shariff (1998), Sistem Maklumat Geografi, Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Hj. Keizrul bin Abdullah. (1998). Hydrology for sustainable water resources planning, development and management in Malaysia. Proceeding of International Conference on Hydrology and Water Resources of Humid Tropics, Ipoh, Malaysia. Pp.7-10.
- Leduc C, Favreau G, Schroeter P (2001). Long-term rise in a Sahelian water-table: the continental terminal in south-west Niger. Journal of Hydrology, 243, 43–54.
- Chong Kui Hong (2002), Pembangunan Laman Web Kartografi Tematik Secara Interaktif dan Dinamik, Tesis Sarjana Muda
- Sumioka, S.S. & Bauer, H.H. (2003). Estimating ground-water recharge from precipitation on Whidbey and Camano Islands, Island County, Washington, water years 1998 and 1999. In Water-Resources Investigations Report, 03-4101: Tacoma, WA: U.S. Geological Survey.
- Harbor, J., Engel, B., Bland, M., Krause, A., and George, D. (2004). Impact of Land Use Change on Water Resources. Purdue Research Foundation, Indiana. www.ecn.purdue.edu/runoff/index.html.
- Moh Rizal B Hamid (2005). Kajian Air Bawah Tanah (Kualiti Air Minuman) Di Sungai Ayam Batu Pahat. Ijazah Sarjana Muda, KUiTTTHO.
- Shukla, S. & Jaber, F.H. (2006). Groundwater recharge from agricultural areas in the Flatwoods Region of South Florida. Edited by Department of Agricultural and Biological Engineering. 7: University of Florida.
- Xi, C., Zhang, Z., Zhang, X., Chen, Y., Qian, M. & Peng, S. 2008. Estimation of groundwater recharge from precipitation and evapotranspiration by Lysimeter measurement and soil moisture model. Journal of Hydrologic Engineering 13(50): 333-340.
- Mohd Shalahuddin B Adnan (2008). Groundwater Flow Model In Semarang Urban Area, Indonesia. Degree of Master of Engineering. Gadjah Mada University.

- Missteart, B.D.R., Brown, L. & Daly, D. (2009). A methodology for making initial estimates of groundwater recharge from groundwater vulnerability mapping. *Hydrogeology Journal* 17(2): 275-285.
- Nwabinele Emmanuel Onochie, Ogonna Nwokoye, Dr C.O.C Awalla (2012). Groundwater Recharge and Precipitation as Major Cause of Soil and Gully Erosion in Lafia Town and Environs of Nassarawa State. *IOSR Journal of Engineering*. 2, (12): PP 47 – 51.
- Saghravani, S.R., Sa'ari Mustapha, Seyed Fazlollah Saghravani (2013). Estimating Groundwater Recharge Using Empirical Method: A Case Study in the Tropical Zone. *Sains Malaysiana* 42(5): 553 - 560
- Barlow (1948) dalam Nwabinele Emmanuel Onochie, Ogonna Nwokoye, Dr C.O.C Awalla (2012). Groundwater Recharge and Precipitation as Major Cause of Soil and Gully Erosion in Lafia Town and Environs of Nassarawa State. *IOSR Journal of Engineering*. 2, (12): PP 49.
- Rizalman (2013). *Kajian Air Masuk Bawah Tanah Di Bangunan Baru Majlis Perbandaran Kuantan*. Sarjana Kejuruteraan Awam, UTHM.
- Ryan J. Kramer, Lahouari Bounoua, Ping Zhang, Robert E. Wolfe, Thomas G. Huntington, Marc L. Imhoff, Kurtis Thome and Genevieve L. Noyce (2015), Evapotranspiration Trends Over the Eastern United States During the 20th Century. *Hydrology* 2015, PG 93-111; doi:10.3390/hydrology2020093, Article.
- Nurly Gofar & Khairulanuar Kassim (2008). *Introduction To Geotechnical Engineering*. Revised Edition Part 2, Prentice Hall, Pearson Education South Asia Pte Ltd, Malaysia.
- E.M. Wilson (1992). *Hidrologi Kejuruteraan*. Terjemahan Fatimah Mohd Noor, Hadibah Ismail, Muhammad Noor Salleh & A. Aziz Ibrahim. Unit Penerbitan Akademik, Universiti Teknologi Malaysia, Sekudai, Johor Darul Takzim.

Laman Web:

<http://apps.water.gov.my/jpskomuniti/dokumen/KUANTAN>