

PENILAIAN KEBERALIRAN HIDRAULIK UNTUK MAKROLIANG BUATAN  
MELALUI KAEDAH WOODING DAN PENYELESAIAN SONGSANG

ACHMAD SYAFI UDDIN

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

PENILAIAN KEBERALIRAN HIDRAULIK UNTUK MAKROLIANG BUATAN  
MELALUI KAEDAH WOODING DAN PENYELESAIAN SONGSANG

ACHMAD SYAFI UDDIN

Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi  
syarat penganugerahan ijazah  
Sarjana Falsafah

Sekolah Pengajian Siswazah  
Universiti Teknologi Malaysia

APRIL 2016

Khas untuk *Ibu* dan almarhum *Bapak*

Saya sangat cinta dan rindu pada keduanya.

Juga untuk saudara-saudara saya yang selalu mendoakan

**Untuk penyelia utama saya**

*Dr. Muhamad Askari*

**Untuk penyelia bersama saya**

*Prof. Dr. Sobri bin Harun*

**Untuk yang telah membantu kajian ini**

*Humid Tropics Centre Kuala Lumpur*

*Dr. Mohamed Roseli bin Zainal Abidin*

*Iman Rizky Nurzaman*

*Abdul Malik bin Sayuti*

## **PENGHARGAAN**

Selanjutnya, saya ingin berterima kasih kepada penyelia utama saya Dr. Muhamad Askari dan penyelia bersama saya Prof. Dr. Sobri bin Harun yang telah dengan sabar untuk memberi tunjuk ajar, menyelia dan menasihati saya di dalam pembelajaran, penyelidikan dan menyiapkan penulisan tesis. Beliau merupakan penyelia terbaik yang pernah saya perolehi di Universiti Teknologi Malaysia. Kepada Dr. Mohamed Roseli bin Zainal Abidin dan kakitangan Humid Tropics Centre serta Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, saya mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan atas kerjasama dan bantuan kewangan yang diberikan. Terima kasih kepada kakitangan Makmal Fizik Tanah Universiti Putra Malaysia dan Makmal Hidraul, Fakulti Kejuruteraan Awam Universiti Teknologi Malaysia. Juga tidak lupa untuk sahabat-sahabat saya yang selalu membantu dan mendoakan untuk saya. Terima kasih.

Achmad Syafiuddin

April 2016

## ABSTRAK

Kajian ini dilakukan untuk menyelidik makroliang buatan sebagai salah satu kemudahan berstruktur alternatif untuk mengurangkan air larian permukaan. Sampel tanah terganggu digunakan untuk mengenal pasti tekstur tanah dan untuk ujikaji lajur tanah. Kandungan air awal, kandungan lembapan air tanah tepu, kandungan lembapan air tanah baki, ketumpatan pukal kering dan kandungan bahan organik diukur menggunakan sampel tanah tidak terganggu. Penyusupan di tapak diukur menggunakan kaedah meter susup piring tegangan berdasarkan tiga perbezaan turus tekanan iaitu -5, -2 dan 0 cm H<sub>2</sub>O. Penyelesaian Wooding digunakan untuk menganggarkan parameter hidraulik tidak tepu. Parameter hasil penyelesaian Wooding digunakan sebagai nilai awal untuk memperolehi parameter hidraulik van Genuchten-Mualem yang optimum dengan kaedah penyelesaian songsang menggunakan data penyusupan bertokok. Ujikaji lajur tanah, ukuran diameter 20 cm dan tinggi 20 cm, dilakukan untuk menyiasat aliran air di dalam tanah yang memiliki makroliang buatan untuk tanah lom liat berpasir dan tanah lom. Perisian HYDRUS 2D/3D digunakan untuk merekabentuk makroliang dan melakukan penyelakuan aliran air di dalamnya. Pekali penentuan ( $R^2$ ) untuk hasil penyusupan bertokok yang diperolehi daripada cerapan dan penyelakuan adalah 0.98-0.99. Tambahan lagi, nilai  $R^2$  untuk hasil penyaliran yang diperolehi daripada cerapan dan penyelakuan adalah dalam tahap 0.99. Pertambahan diameter makroliang buatan (0, 5, 8 dan 10 cm) untuk kedua-dua tekstur tanah mampu meningkatkan jumlah penyaliran dan juga meningkatkan jumlah penyusupan bertokok. Pertambahan ukuran panjang makroliang buatan (0, 10, 20 dan 50 cm) untuk kedua-dua tekstur tanah telah ditemui mampu meningkatkan jumlah penyaliran dan jumlah penyusupan bertokok. Pertambahan lembapan awal tanah (12%, 20% dan 25%) untuk tanah lom liat berpasir dan tanah lom (15%, 20% dan 25%) telah meningkatkan jumlah penyaliran tetapi menurunkan jumlah penyusupan bertokok. Makroliang buatan di dalam tanah lom liat berpasir dan tanah lom telah membuktikan banyak menyusupkan air berbanding tanah tidak ada makroliang. Kajian keberaliran hidraulik untuk makroliang buatan melalui kaedah Wooding dan penyelesaian songsang berjaya membuktikan bahawa makroliang berpotensi menjadi salah satu langkah berstruktur alternatif untuk mengurangkan air larian permukaan.

## ABSTRACT

The present study was carried out to investigate artificial macropore as an alternative structural measure to reduce surface runoff. Disturbed soils were sampled to determine soil texture and conduct soil column experiment. Initial water content, saturated hydraulic conductivity, residual water content, dry bulk density, and organic matter contents were measured from undisturbed soil samples. Field infiltration was measured by using tension disc infiltrometer with three different pressure heads i.e. -5, -2, and 0 cm H<sub>2</sub>O. Wooding's solution was then used to estimate unsaturated hydraulic parameters. The result of Wooding's solution was then used as initial estimates of optimized van Genuchten-Mualem hydraulic parameters by inverse solution using cumulative infiltration data. Soil column experiment, 20 cm in diameter and 20 cm in height, was carried out to investigate water flow in the soil with an artificial macropore for sandy clay loam and loam soil. HYDRUS 2D/3D was employed to design an artificial macropore and to simulate the water flow. Determination coefficients ( $R^2$ ) for cumulative infiltration from observation and simulation are found to be 0.98-0.99. In addition,  $R^2$  for drainage from observation and simulation are in the order of 0.99. Increasing macropore diameters (0, 5, 8 and 10 cm) for the both soil textures were found to increase total drainage and cumulative infiltration. Increasing macropore lengths (0, 10, 20 and 10 cm) for the both soil texture were found to increase total drainage and cumulative infiltration. Increasing initial water contents (12%, 20% and 25%) for the sandy clay loam and loam soil (15%, 20% and 25%) were found to increase total drainage but to decrease the cumulative infiltration. Artificial macropore in sandy clay loam and loam soil proved to infiltrate much water compared without macropore. The study on hydraulic conductivity using Wooding and inverse solutions successfully revealed that an artificial macropore has the potential to be an alternative structural measure to reduce surface runoff.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b>ABSTRACT</b>	vi
	<b>KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xii
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xv
	<b>SENARAI SIMBOL</b>	xxii
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xxiii
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xxiv
<b>1</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Penyataan Masalah	3
	1.3 Tujuan dan Objektif Kajian	5
	1.4 Skop Kajian	5
	1.5 Kepentingan Kajian	6
	1.5.1 Kepentingan Kajian Untuk Pihak Pemaju/Organisasi	6
	1.5.2 Kepentingan Kajian Untuk Sains	6
	1.6 Struktur Tesis	7
<b>2</b>	<b>KAJIAN LITERATUR</b>	<b>8</b>
	2.1 Pendahuluan	8

2.2	Proses Kitaran Hidrologi	9
2.3	Tanah	12
	2.3.1 Struktur Tanah	12
	2.3.2 Tekstur Tanah	13
2.4	Penyusupan	14
	2.4.1 Istilah dan Takrifan	14
	2.4.2 Kaedah Untuk Mengukur Penyusupan	16
	2.4.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Penyusupan	20
	2.4.4 Kajian Penyusupan Di Kawasan Bandar	23
2.5	Pengurusan Air Ribut	24
2.6	Makroliang	25
	2.6.1 Takrifan dan Jenis Makroliang Buatan	25
	2.6.2 Aliran Air Melalui Tanah Yang Memiliki Dan Tanpa Makroliang	27
	2.6.3 Kajian-Kajian Berkenaan Dengan Makroliang Buatan	29
2.7	Perisian HYDRUS 2D/3D	32
2.8	Rumusan Kajian Literatur	35
<b>3</b>	<b>METODOLOGI</b>	<b>37</b>
3.1	Pendahuluan	37
3.2	Kerangka Kerja	38
3.3	Persiapan	39
	3.3.1 Tempat Kajian	39
	3.3.1 Penentuan Tempat	40
3.4	Kerja Luar	41
	3.4.1 Pengambilan Sampel Tanah Terganggu	41
	3.4.2 Pengukuran Penyusupan Di Tapak	42
	3.4.3 Pengambilan Sampel Tanah Tidak Terganggu	42
3.5	Ujikaji dan Anggaran	43
	3.5.1 Pengkelasan Tekstur Tanah	43



3.5.2	Penentuan Sifat-Sifat Fisik Tanah	45
3.5.3	Pengoptimuman Model Kadar penyusupan	46
3.5.4	Penyelesaian Wooding (1968)	47
3.5.5	Penyelesaian Songsang	49
3.6	Menyelidik Makroliang Buatan	51
3.6.1	Ujikaji Lajur Tanah	51
3.6.2	Perbandingan Ujikaji Makroliang Buatan Dan Penyelakuan	52
3.6.3	Uji Statistik	53
3.6.4	Penyelakuan Makroliang Buatan	54
<b>4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	<b>56</b>
4.1	Pendahuluan	56
4.2	Tekstur Tanah	57
4.3	Sifat-Sifat Fizik Tanah	60
4.3.1	Tanah Lom Liat Berpasir	60
4.3.2	Tanah Pasir Lom	61
4.3.3	Tanah Lom Berpasir	62
4.3.4	Tanah Lom	63
4.4	Kadar penyusupan	64
4.4.1	Tanah Lom Liat Berpasir	64
4.4.2	Tanah Pasir Lom	68
4.4.3	Tanah Lom Berpasir	71
4.4.4	Tanah Lom	74
4.5	Model Penyusupan	78
4.6	Penyusupan Bertokok	79
4.7	Analisis Anggaran Parameter	82
4.7.1	Lengkung-Lengkung Penyusupan Bertokok Yang Dioptimumkan	82
4.7.2	Lengkung-Lengkung Keberaliran Hidraulik Tidak Tepu	88
4.7.3	Lengkung-Lengkung Simpanan Air	90
4.8	Aliran Air Di Dalam Lajur Tanah Yang Memiliki	

	Makroliang	93
4.9	Analisis Anggaran Parameter	95
4.9.1	Lengkung-Lengkung Penyusupan Bertokok Yang Optimum Dari Tanah Lom Liat Berpasir	95
4.9.2	Lengkung-Lengkung Penyusupan Bertokok Yang Optimum Dari Tanah Lom	99
4.10	Pengaruh Perubahan Ukuran Makroliang Dan Kandungan Lembapan Awal Terhadap Penyusupan Bertokok Dan Jumlah Penyaliran	102
4.10.1	Pengaruh Perubahan Ukuran Diameter Makroliang Buatan Terhadap Penyusupan Bertokok Dan Jumlah Penyaliran Untuk Tanah Lom Liat Berpasir	102
4.10.2	Pengaruh Perubahan Panjang Makroliang Buatan Terhadap Penyusupan Bertokok Dan Jumlah Penyaliran Untuk Tanah Lom Liat Berpasir	106
4.10.3	Pengaruh Perubahan Kandungan Air Awal Tanah Terhadap Penyusupan Bertokok Dan Jumlah Penyaliran Untuk Tanah Lom Liat Berpasir	108
4.10.4	Pengaruh Perubahan Ukuran Diameter Makroliang Buatan Terhadap Penyusupan Bertokok Dan Jumlah Penyaliran Untuk Tanah Lom	111
4.10.5	Pengaruh Perubahan Panjang Makroliang Buatan Terhadap Penyusupan Bertokok Dan Jumlah Penyaliran Untuk Tanah Lom	114
4.10.6	Pengaruh Perubahan Kandungan Air Awal Tanah Terhadap Penyusupan Bertokok Dan Jumlah Penyaliran Untuk Tanah Lom	116

<b>5</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	<b>119</b>
5.1	Kesimpulan	119
5.1.1	Objektif 1	119
5.1.2	Objektif 2	120
5.1.3	Objektif 3	120
5.1.4	Implikasi Penemuan	122
5.2	Cadangan	122
	<b>RUJUKAN</b>	<b>123</b>
	Lampiran A-B	138-143

## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Senarai saiz makroliang buatan kepada beberapa penyelidikan terdahulu	30
3.1	Tempat kajian yang dipilih	41
3.2	Lokasi yang terpilih berasaskan perbezaan tekstur tanah	42
3.3	Penyelakuan makroliang untuk setiap perbezaan kandungan air awal	55
4.1	Taburan Ukuran Zarah dan Pengkelasan Tekstur Tanah	59
4.2	Sifat-sifat fizik tanah yang diukur di makmal dari HTC 3	61
4.3	Sifat fizik dan hidraulik tanah yang diukur di makmal dari B 4	62
4.4	Sifat fizik dan hidraulik tanah yang diukur di makmal dari A 4	62
4.5	Sifat fizik dan hidraulik tanah yang diukur di makmal dari B 2	64
4.6	Parameter-parameter yang optimum dari model Horton (1938)	78
4.7	Parameter-parameter yang optimum dari model Horton (1938)	78
4.8	Parameter-parameter yang optimum dari model Horton (1938)	79
4.9	Parameter-parameter yang optimum dari model Horton (1938)	79

4.10	Nilai awal dan optimum dari parameter-parameter hidraulik tanah untuk HTC 3	84
4.11	Nilai awal dan optimum dari parameter-parameter hidraulik tanah untuk A 4	85
4.12	Nilai awal dan optimum dari parameter-parameter hidraulik tanah untuk B 4	86
4.13	Nilai awal dan optimum dari parameter-parameter hidraulik tanah untuk B 2	87
4.14	Parameter-parameter hidraulik tanah yang digunakan sebagai nilai awal dan nilai yang optimum untuk tanah lom liat berpasir	98
4.15	Penunjuk statistik antara penyusupan bertokok dan penyaliran yang dicerap dan penyelakuan menggunakan HYDRUS 2D/3D untuk tanah lom liat berpasir	99
4.16	Parameter-parameter hidraulik tanah yang digunakan sebagai nilai awal dan nilai yang optimum untuk tanah lom	102
4.17	Penunjuk statistik antara penyusupan bertokok dan penyaliran yang dicerap dan penyelakuan menggunakan HYDRUS 2D/3D untuk tanah lom	102
4.18	Pengaruh perubahan ukuran diameter makroliang buatan terhadap jumlah penyusupan bertokok dan penyaliran untuk tanah lom liat berpasir	105
4.19	Pengaruh perubahan panjang makroliang buatan terhadap jumlah penyusupan bertokok dan penyaliran untuk tanah lom liat berpasir	107
4.20	Pengaruh perubahan lembapan awal terhadap jumlah penyusupan bertokok dan penyaliran untuk tanah lom liat berpasir	110
4.21	Pengaruh perubahan ukuran diameter makroliang buatan terhadap jumlah penyusupan bertokok dan penyaliran untuk tanah lom	113

4.22	Pengaruh perubahan panjang makroliang buatan terhadap jumlah penyusupan bertokok dan penyaliran untuk tanah lom	115
4.23	Pengaruh perubahan lembapan awal terhadap jumlah penyusupan bertokok dan penyaliran untuk tanah lom	118

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Proses kitaran air (Marshall, 2013)	10
2.2	Kitaran air (a) semula jadi (b) di kawasan bandar (EPA, 2003)	11
2.3	Struktur tanah merujuk kepada agregat tanah (Brouwer et al., 1985)	12
2.4	Segitiga tekstur tanah merujuk kepada pengelasan USDA (Teh and Rashid, 2003)	13
2.5	Penyelakuan kandungan air tanah selama proses penyusupan (Miyazaki, 2006)	16
2.6	Keupayaan penyusupan kepada tanah kering dan basah (Miyazaki, 2006)	16
2.7	Gambaran meter susup piring tegangan (Angulo-Jaramillo et al., 2000)	19
2.8	Gambaran meter susup alur (Lentz and Bjorneberg, 1999)	19
2.9	Gambaran meter susup pemercik (Pudasaini et al., 2004)	20
2.10	Jenis makroliang buatan (Allaire-Leung et al., 2000a)	26
2.11	Beberapa kedudukan makroliang di dalam lajur tanah (Allaire-Leung et al., 2000b)	26
2.12	Penyusupan di dalam makroliang O-O dan O-C (Zhou, B. B. et al., 2013)	26
2.13	Sejarah pembuatan HYDRUS dan beberapa perisian yang berkaitan (Šimůnek et al., 2008)	34

2.14	Paparan utama HYDRUS 2D/3D (Šimůnek et al., 2008)	34
3.1	Gambarajah kerangka kerja	38
3.2	Peta lokasi Humid Tropics Centre Kuala Lumpur menggunakan peta Google	39
3.3	Lokasi-lokasi pengambilan contoh tanah di kawasan Sungai Langat	40
3.4	Gambarajah tatacara (1-20) untuk menentukan taburan saiz butiran zarah	44
3.5	Kemasukan data kepada perisian tekstur tanah (Teh and Rashid, 2003)	45
3.6	Susunan peralatan ujikaji lajur tanah untuk kajian	52
3.7	Gambaran penyelakuan makroliang buatan di dalam HYDRUS 2D/3D	53
3.8	Gambaran penyelakuan makroliang buatan terhadap perubahan diameter makroliang	54
3.9	Gambaran penyelakuan makroliang buatan terhadap perubahan panjang makroliang	55
4.1	Pengukuran penyusupan di HTC 3a	65
4.2	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di HTC 3a	65
4.3	Pengukuran penyusupan di HTC 3b	66
4.4	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di HTC 3b	66
4.5	Pengukuran penyusupan di HTC 3c	67
4.6	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di HTC 3c	67
4.7	Pengukuran penyusupan di B 4a	68
4.8	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di B 4a	69
4.9	Pengukuran penyusupan di B 4b	69
4.10	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di B 4b	70



4.11	Pengukuran penyusupan di B 4c	70
4.12	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di B 4c	71
4.13	Pengukuran penyusupan di A 4a	72
4.14	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di A 4a	72
4.15	Pengukuran penyusupan di A 4b	73
4.16	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di A 4b	73
4.17	Pengukuran penyusupan di A 4c	74
4.18	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di A 4c	74
4.19	Pengukuran penyusupan di B 2a	75
4.20	Pengukuran penyusupan di B 2b	76
4.21	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di B 2b	76
4.22	Pengukuran penyusupan di B 2c	77
4.23	Kadar penyusupan untuk tiga perbezaan turus tekanan di B 2c	77
4.24	Penyusupan bertokok untuk tiga cerun yang berurutan dari turus tekanan ( $h = -5, -2$ dan $0$ cm $H_2O$ ) di HTC 3. Perbezaan cerun tersebut menyatakan bahawa cerun pertama ialah kepada turus tekanan $-5$ cm $H_2O$ , cerun kedua ialah kepada turus tekanan $-2$ cm $H_2O$ dan cerun ketiga ialah kepada turus tekanan $0$ cm $H_2O$	80
4.25	Penyusupan bertokok untuk tiga cerun yang berurutan dari turus tekanan ( $h = -5, -2$ dan $0$ cm $H_2O$ ) di B 4. Perbezaan cerun tersebut menyatakan bahawa cerun pertama ialah kepada turus tekanan $-5$ cm, cerun kedua ialah kepada turus tekanan $-2$ cm $H_2O$ dan cerun ketiga ialah kepada turus tekanan $0$ cm $H_2O$	81

- 4.26 Penyusupan bertokok untuk tiga cerun yang berurutan dari turus tekanan ( $h = -5, -2$  dan  $0$  cm  $H_2O$ ) di A 4. Perbezaan cerun tersebut menyatakan bahawa cerun pertama ialah kepada turus tekanan  $-5$  cm, cerun kedua ialah kepada turus tekanan  $-2$  cm  $H_2O$  dan cerun ketiga ialah kepada turus tekanan  $0$  cm  $H_2O$  81
- 4.27 Penyusupan bertokok untuk tiga cerun yang berurutan dari turus tekanan ( $h = -5, -2$  dan  $0$  cm  $H_2O$ ) di B 2. Perbezaan cerun tersebut menyatakan bahawa cerun pertama ialah kepada turus tekanan  $-5$  cm, cerun kedua ialah kepada turus tekanan  $-2$  cm  $H_2O$  dan cerun ketiga ialah kepada turus tekanan  $0$  cm  $H_2O$  82
- 4.28 Penyusupan bertokok yang diukur di tapak dan penyelakuan menggunakan HYDRUS 2D/3D untuk HTC 3 84
- 4.29 Penyusupan bertokok yang diukur di tapak dan penyelakuan menggunakan HYDRUS 2D/3D untuk B 4 85
- 4.30 Penyusupan bertokok yang diukur di tapak dan penyelakuan menggunakan HYDRUS 2D/3D untuk A 4 86
- 4.31 Penyusupan bertokok yang diukur di tapak dan penyelakuan menggunakan HYDRUS 2D/3D untuk B 2 87
- 4.32 Data keberaliran hidraulik dari HTC 3 yang diperolehi menggunakan penyelesaian Wooding dan songsang dengan HYDRUS 2D/3D 88
- 4.33 Data keberaliran hidraulik dari B 4 yang diperolehi menggunakan penyelesaian Wooding dan songsang dengan HYDRUS 2D/3D 89
- 4.34 Data keberaliran hidraulik dari A 4 yang diperolehi

	menggunakan penyelesaian Wooding dan songsang dengan HYDRUS 2D/3D	89
4.35	Data keberaliran hidraulik dari B 2 yang diperoleh menggunakan penyelesaian Wooding dan songsang dengan HYDRUS 2D/3D	90
4.36	Lengkung simpanan air tanah dari HTC 3 yang diperoleh dari songsang berangka menggunakan data pengukuran penyusupan di tapak	91
4.37	Lengkung simpanan air tanah dari B 4 yang diperoleh dari songsang berangka menggunakan data pengukuran penyusupan di tapak	91
4.38	Lengkung simpanan air tanah dari A 4 yang diperoleh dari songsang berangka menggunakan data pengukuran penyusupan di tapak	92
4.39	Lengkung simpanan air tanah dari B 2 yang diperoleh dari songsang berangka menggunakan data pengukuran penyusupan di tapak	92
4.40	Penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) yang dicerap melalui lajur tanah (diameter 20 cm dan tinggi 20 cm) yang mempunyai makroliang O-C (diameter 8 cm dan panjang 9 cm) untuk tanah lom liat berpasir	94
4.41	Penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) yang dicerap melalui lajur tanah (diameter 20 cm dan tinggi 20 cm) yang mempunyai makroliang O-C (diameter 8 cm dan panjang 9 cm) untuk tanah lom	94
4.42	Penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) yang dicerap melalui ujikaji lajur tanah yang memiliki sebuah makroliang buatan (diameter 8 cm dan panjang 9 cm) dan penyelakuan menggunakan HYDRUS 2D/3D	97
4.43	Penyelakuan dan cerapan perubahan lembapan air terhadap masa kepada tanah lom liat berpasir	97

4.44	Penyelakuan penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom liat berpasir dengan perbezaan nilai keberaliran hidraulik tepu ( $K_s$ )	98
4.45	Penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) yang dicerap melalui ujikaji lajur tanah memiliki sebuah makroliang buatan (diameter 8 cm dan panjang 9 cm) dan penyelakuan menggunakan HYDRUS 2D/3D	100
4.46	Penyelakuan dan cerapan perubahan lembapan air terhadap masa kepada tanah lom liat berpasir	101
4.47	Penyelakuan penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom dengan perbezaan nilai keberaliran hidraulik tepu ( $K_s$ )	101
4.48	Pengaruh perubahan ukuran diameter makroliang buatan terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom liat berpasir dengan lembapan awal 12%	104
4.49	Pengaruh perubahan ukuran diameter makroliang buatan terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom liat berpasir dengan lembapan awal 20%	104
4.50	Pengaruh perubahan ukuran diameter makroliang buatan terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom liat berpasir dengan lembapan awal 25%	105
4.51	Pengaruh perubahan panjang makroliang buatan terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom liat berpasir dengan lembapan awal 12%	107
4.52	Pengaruh perubahan kandungan lembapan awal (KLA) terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom liat berpasir dengan ukuran makroliang A	109
4.53	Pengaruh perubahan kandungan lembapan awal	

	(KLA) terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom liat berpasir dengan ukuran makroliang B	109
4.54	Pengaruh perubahan kandungan lembapan awal (KLA) terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom liat berpasir dengan ukuran makroliang C	110
4.55	Pengaruh perubahan ukuran diameter makroliang buatan terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom dengan lembapan awal 15%	112
4.56	Pengaruh perubahan ukuran diameter makroliang buatan terhadap penyusupan bertokok dan penyaliran untuk tanah lom dengan lembapan awal 20%	112
4.57	Pengaruh perubahan ukuran diameter makroliang buatan terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom dengan lembapan awal 25%	113
4.58	Pengaruh perubahan panjang makroliang buatan terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom dengan lembapan awal 15%	115
4.59	Pengaruh perubahan kandungan lembapan awal (KLA) terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom dengan ukuran makroliang A	117
4.60	Pengaruh perubahan kandungan lembapan awal (KLA) terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom dengan ukuran makroliang B	117
4.61	Pengaruh perubahan kandungan lembapan awal (KLA) terhadap penyusupan bertokok (PB) dan penyaliran (P) untuk tanah lom dengan ukuran makroliang C	118

**SENARAI SIMBOL**

$\theta_i$	-	Kandungan air awal
$i$	-	Penyusupan
$i_c$	-	Kadar penyusupan
$\theta_r$	-	Kandungan air baki
$\theta_s$	-	Kandungan air tepu
$K_s$	-	Keberaliran hidraulik tepu
$\theta$	-	Isipadu kandungan air tanah
$t$	-	Masa
$h$	-	Turus tekanan
$l$	-	Parameter keliangan
$n$	-	Indeks pengagihan ukuran keliangan
$OM$	-	Bahan organik
$W$	-	Jisim tanah basah
$W_s$	-	Berat tanah
$V$	-	Isipadu
$K$	-	Keberaliran hidraulik

**SENARAI SINGKATAN**

A 4	-	Kod untuk sampel tanah dari Dengkil, Selangor
B 2	-	Kod untuk sampel tanah dari Nilai, Negeri Sembilan
B 4	-	Kod untuk sampel tanah dari Teluk Panglima Garang, Selangor
BD	-	Ketumpatan pukal kering
C-C	-	Tutup-tutup
C-O	-	Tutup-buka
DID	-	Jabatan Pengairan dan Saliran
DSM	-	Jabatan Statistik Malaysia
GIS	-	Sistem maklumat geografi
HTC KL	-	Humid Tropics Centre Kuala Lumpur
JPS	-	Jabatan Pengairan dan Saliran
MSMA	-	Manual Saliran Mesra Alam
OM	-	Bahan organik
O-C	-	Buka-tutup
O-O	-	Buka-buka
PB	-	Penyusupan bertokok
P	-	Penyaliran
SL	-	Sungai Langat
USDA	-	<i>United State Department of Agriculture</i>

## SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A-1	Susunan peralatan untuk mengukur penyusupan yang memiliki makroliang (Setiawan, 1992)	138
A-2	Sampel tanah terganggu dari HTC KL	139
A-3	Sampel tanah tidak terganggu dari HTC KL	139
B-1	Pengambilan sampel tanah terganggu dari Nilai untuk ujikaji lajur tanah	140
B-2	Pengambilan sampel terganggu dari HTC KL untuk ujikaji lajur tanah	140
B-3	Sampel tanah terganggu yang digunakan untuk menentukan taburan saiz zarah	141
B-4	Ayakan yang digunakan sebagai langkah untuk menentukan taburan saiz zarah	141
B-5	Kaedah <i>pipette</i>	142
B-6	Kaedah <i>pipette</i>	142
B-7	Cara untuk mengambil sampel tanah terganggu	143
B-8	Cara untuk mengambil sampel tanah tidak terganggu	143



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebelakangan ini, pembangunan kawasan bandar-bandar di Malaysia terus meningkat dengan pesatnya (Abas dan Hashim, 2014). Peningkatan tersebut ditunjukkan oleh kenaikan kadar pertumbuhan keluasan kawasan bandar dan kepadatan penduduk (DSM, 2011). Menurut Jabatan Statistik Malaysia (2011), pertumbuhan dalam pembangunan bandar tersebut meningkat kepada 71.0 % pada tahun 2010 berbanding dengan 62% pada tahun 2000. Kadar pertumbuhan kawasan bandar di beberapa wilayah seperti Kuala Lumpur dan Putrajaya ialah 100%, sedangkan Selangor dan Pulau Pinang memiliki kadar pertumbuhan masing-masing sebanyak 91.4% dan 90.8%. Kadar pertumbuhan kawasan bandar yang rendah dimiliki oleh negeri Kelantan (42.4%), Pahang (50.5%) dan Perlis (51.4%). Kepadatan penduduk di Malaysia untuk pada tahun 2010 ialah 86 penduduk per km<sup>2</sup> meningkat dalam masa 10 tahun kemudiannya berbanding pada tahun 2000 dengan kepadatan 71 penduduk per km<sup>2</sup> (DSM, 2011).

Pembangunan kawasan bandar tidak hanya memiliki kesan positif, sebaliknya memiliki beberapa kesan negatif terhadap alam sekitar (Abas and Hashim, 2014). Pembangunan kawasan bandar meningkatkan lagi kawasan permukaan tidak telap air, seperti bumbung dan jalan raya yang boleh mempengaruhi proses penyusupan (Fitts, 2013). Juga, mengikut Pitt *et al.*, (2008), pembangunan kawasan bandar merupakan salah satu perkara yang boleh menyebabkan peningkatan keluasan permukaan tidak telap air. Selain itu, Gregory *et al.*, (2006) berpendapat bahawa

pembangunan kawasan bandar boleh menyebabkan keadaan zarah tanah berubah menjadi lebih padat. Dengan perubahan tersebut, apabila keamatan hujan meningkat, maka banjir mudah berlaku di kawasan bandar (Abas dan Hashim, 2014). Jelasnya penambahan keluasan permukaan tidak telap air merupakan salah satu faktor yang menyumbang kepada kejadian banjir kilat.

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang menyebabkan kerosakan yang serius serta ianya membahayakan nyawa penduduk (Kia *et al.*, 2012). Jumlah kerugian ekonomi sejagat akibat bencana tersebut yang telah dianggarkan, 40% disebabkan oleh banjir (Feng dan Lu, 2010; Kia *et al.*, 2012). Di Malaysia, banjir merupakan masalah besar yang boleh mengancam nyawa penduduk dan menyebabkan banyak kematian (Kia *et al.*, 2012). Menurut Klados *et al.* (2007), beberapa tahun kebelakangan ini, Malaysia mengalami kejadian banjir yang lebih besar sehingga mendatangkan kerugian dalam sektor ekonomi dan memberikan kehidupan yang tidak selesa kepada penduduk di kawasan bandar. Mengikut Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS) pada tahun 2013, jumlah kerugian ekonomi akibat bencana banjir sehingga tahun 2002 dianggarkan RM915.24 juta/tahun (JPS, 2013). Nilai kerugian di Semenanjung Malaysia adalah RM616.62 juta/tahun dan Sabah dan Sarawak pula adalah RM298.62 juta/tahun. Jumlah bilangan penduduk yang mengalami kesan bencana banjir adalah 4.915 juta orang/tahun (JPS, 2013).

Di Malaysia, Banjir atau banjir kilat berlaku secara tradisi setiap tahun (Gasim *et al.*, 2010). Banjir berkenaan biasanya disebabkan sama ada oleh hujan yang berterusan atau disebabkan oleh air sungai yang melimpah. Usaha-usaha untuk mengurangkan banjir kilat dengan mengurangkan air larian permukaan telah menjadi salah satu perhatian utama para penyelidik dan pihak kerajaan (Abdullah, 2004; Zakaria *et al.*, 2004; Toriman *et al.*, 2009; Ooshaksaraie *et al.*, 2012). Secara praktikal, pengurusan air ribut ialah dengan memindahkan air larian permukaan melalui sistem saliran (Sidek *et al.*, 2004; Zakaria *et al.*, 2004; Zakaria *et al.*, 2014). Tujuan pengurusan air ribut dilaksanakan sebagai salah satu usaha untuk mengelakkan banjir, memelihara kesihatan penduduk, melindungi nyawa penduduk dan harta benda (DID, 2009). Untuk menguruskan masalah berkenaan, JPS telah menerbitkan Manual Saliran Mesra Alam (MSMA) edisi pertama pada tahun 2000

dan MSMA edisi kedua pada tahun 2012 (DID, 2012). Manual tersebut merupakan salah satu manual pengurusan air ribut dengan mengambil kira terhadap isu alam sekitar dan langkah-langkah yang mampan (Zakaria *et al.*, 2014). MSMA edisi pertama termasuk kepada piawai dan praktikal terbaru, teknologi, dan praktikal secara teknikal terbaik. Seterusnya MSMA 2012, dikenalpasti sebagai salah satu pendekatan yang baru untuk pengurusan air ribut dengan hasrat untuk memastikan keselamatan orang awam, mengelakkan banjir, meminimumkan kesan air larian terhadap alam sekitar dan memelihara sistem ekologi (DID, 2012).

Selain itu, beberapa langkah-langkah berstruktur dan tidak berstruktur untuk pengurusan air ribut telah dilaksanakan di Malaysia (DID, 2013). Beberapa langkah-langkah berstruktur telah dilaksanakan seperti kewujudan sistem penyaliran bio-ekologi, mengecas air bumi, *grassed swale*, bio-simpanan air, kolam takungan kering, *wading river*, tanah bencah, kolam tahanan dan kolam rekreasi. Selain itu, langkah-langkah tidak berstruktur seperti amaran banjir, kempen kesedaran dan peta kawasan banjir juga telah dilaksanakan (Zakaria *et al.*, 2014). Beberapa penyelidikan telah dilaksanakan untuk menguji langkah-langkah berstruktur tersebut seperti ricas air bawah tanah (Tunji *et al.*, 2011), kolam tahanan kering (Liew *et al.*, 2012), tanah paya (Asmaliza *et al.*, 2013), dan taman penuaian hujan (Kok *et al.*, 2013). Kok *et al.*, (2013) mencadangkan taman penuaian hujan sebagai salah satu teknologi mesra alam sekitar untuk pengurusan air ribut di Malaysia. Penyelidikan tersebut mendapati bahawa teknologi ini adalah berkesan di dalam menurunkan nilai kadaraliran puncak dengan mengurangkan air hujan secara kaedah sistem penuaian.

## **1.2    Penyataan Masalah**

Pengurusan air ribut merupakan salah satu isu yang kritikal terutama di kawasan bandar (Ooshaksaraie *et al.*, 2012). Pelbagai langkah-langkah berstruktur dan tidak berstruktur telah dilaksanakan untuk pengurusan air ribut (DID, 2013). Beberapa langkah langkah berstruktur yang telah dilaksanakan adalah tepat, namun begitu mungkin memiliki beberapa kekurangan. Salah satu kekurangannya yang boleh nampak ialah mungkin pembangunannya boleh memakan masa yang lama,

masalah kos dan mewujudkan ruang hijau yang terbuka. Selain itu, mengikut Zakaria *et al.*, (2004) langkah-langkah yang sedia ada tidak dapat melibatkan masyarakat dan penghuni setempat mengambil bahagian yang lebih aktif untuk mengurangkan air larian permukaan. Oleh yang demikian, mungkin sebuah langkah kawalan berstruktur alternatif yang baru diperlukan yang mana ianya lebih mesra alam, menjimatkan masa, kos dan berjaya melibatkan masyarakat setempat turut serta dalam kegiatan berkenaan. Selain itu langkah kawalan berstruktur yang baru harus bersesuaian dengan tujuan MSMA (2012) di dalam memelihara ekologi.

Makroliang buatan adalah dianggap merupakan salah satu langkah berstruktur alternatif untuk mengurangkan air larian. Salah satu kelebihanya adalah langkah ini berpotensi dapat menjimatkan masa dan kos. Selain itu masyarakat boleh membuat makroliang buatan di kawasan sekitar rumah mereka untuk mengelakkan air larian. Penyelidikan perbandingan tentang penggunaan makroliang telah dilaksanakan oleh beberapa kajian (Meerveld dan Weiler, 2008; van Schaik *et al.*, 2010; Beven dan Germann, 2013). Kajian tersebut mendapati bahawa tanah yang memiliki makroliang menghasilkan kadar penyusupan yang lebih cepat berbanding tanah yang tidak memiliki makroliang. Setiawan (1992) dalam kajiannya juga telah mendapati bahawa kadar penyusupan melalui tanah yang mempunyai makroliang lebih cepat berbanding dengan tanah yang tidak mempunyai makroliang.

Kajian makroliang buatan mungkin masih memiliki beberapa kekurangan dalam perkara tertentu. Beberapa penyelidikan sebelumnya hanya menyelidik pengaruh makroliang terhadap aliran air tanah (Gerke dan van Genuchten, 1993; Mohanty *et al.*, 1997; Meerveld dan Weiler, 2008; van Schaik *et al.*, 2010; Beven dan Germann, 2013; Zhou *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2014). Selain itu, kajian tentang makroliang yang telah dilakukan oleh banyak penyelidik (Setiawan, 1992; Buttle and Leigh, 1997; Allaire-Leung *et al.*, 2000a; Allaire-Leung *et al.*, 2000b; Castiglione *et al.*, 2003; Zhou *et al.*, 2012; Zhou *et al.*, 2013) tidak memberikan penjelasan faedah makroliang untuk mengurangkan air larian permukaan. Oleh yang demikian, maklumat tentang saiz makroliang buatan yang optimum dan kegunaanya di dalam mengurangkan air larian masih lagi diperlukan.

### 1.3 Tujuan dan Objektif Kajian

Kajian ini dilakukan dengan tujuan untuk menyelidik makroliang buatan dihubungkan dengan tekstur tanah dan parameter-parameter hidraulik tanah sebagai salah satu kemudahan berstruktur untuk mengurangkan air larian. Untuk mencapai tujuan tersebut, kajian ini dilaksanakan dengan berpandukan kepada beberapa objektif sebagai berikut:

- a) Menentukan keberaliran hidraulik tanah menggunakan penyelesaian Wooding.
- b) Menentukan keberaliran hidraulik tanah menggunakan penyelesaian songsang berdasarkan persamaan Richards-Darcy 2D.
- c) Membandingkan pengaruh ukuran makroliang dan lembapan awal tanah terhadap penyusupan dan penyaliran pada tekstur tanah yang berbeza.

### 1.4 Skop Kajian

Beberapa skop kajian yang dilaksanakan untuk mencapai tujuan di atas disenaraikan seperti berikut:

- a) Kawasan yang dipilih untuk menguji kaedah yang dicadangkan adalah Humid Tropics Centre, Kuala Lumpur (HTC KL) dan kawasan Sungai Langat yang memiliki pembangunan bandar.
- b) Kawasan Sungai Langat yang dipilih ialah Dengkil, Teluk Panglima Garang dan Nilai.
- c) Sifat-sifat fizik tanah yang diselidiki ialah kandungan air awal, kandungan air tanah pada turus tekanan  $-15000 \text{ cm H}_2\text{O}$ , ketumpatan pukal kering, kandungan bahan organik tanah dan jumlah keliangan.
- d) Keberaliran hidraulik tanah dianggar menggunakan penyelesaian Wooding menggunakan persamaan Ankeny *et al.*, (1991) dan Reynolds dan Elrick (1991).

- e) Keberaliran hidraulik tanah dianggap menggunakan penyelesaian songsang menggunakan persamaan Richards-Darcy 2D, van Genuchten (1980) dan Mualem (1976).
- f) Kajian makroliang dan penyusupan adalah untuk kawalan kuantiti.
- g) Perbandingan penyusupan dan penyaliran daripada makroliang dinilai menggunakan perbezaan diameter makroliang, panjang makroliang dan lembapan awal tanah.

## **1.5 Kepentingan Kajian**

### **1.5.1 Kepentingan Kajian untuk Pihak Pemaju/Organisasi**

Di Malaysia, pengurusan banjir mungkin tidak boleh diselesaikan oleh kerajaan sahaja. Harus ada penyertaan lebih aktif oleh masyarakat untuk mengurangkan banjir. Makroliang buatan mungkin merupakan salah satu langkah berstruktur yang dapat mengajak masyarakat untuk ambil bahagian lebih aktif untuk mengurangkan banjir. Selain pembuatannya mudah, ianya juga boleh menjimatkan masa, kos dan luas tanah yang digunakan. Langkah ini mungkin juga akan memenuhi kehendak manual penyaliran terbaru iaitu pemeliharaan ekosistem. Oleh sebab itu, hasil kajian ini diharapkan menjadi maklumat baru sebagai salah satu langkah berstruktur alternatif untuk pengurusan air ribut di kawasan bandar.

### **1.5.2 Kepentingan Kajian untuk Sains**

Ada tiga perkara penting yang dapat dihasilkan dari kajian ini. Perkara-perkara tersebut ialah sifat-sifat fizik tanah, penyusupan dan makroliang buatan. Di dalam kajian penyusupan, kajian ini diharapkan menjadi sumbangan pengetahuan untuk proses penyusupan melalui beberapa tekstur tanah di kawasan bandar. Untuk sifat-sifat tanah, kajian ini diharapkan berjaya menyampaikan pengetahuan tentang perbezaan sifat-sifat fizik tanah daripada beberapa tekstur tanah. Sedangkan kepada

makroliang buatan, kajian ini akan menjadi maklumat baru sebagai salah satu langkah berstruktur alternatif untuk mengurangkan air larian di kawasan bandar.

## **1.6 Struktur Tesis**

Tesis ini terdiri dari lima bab. Bab I menjelaskan latar belakang kajian ini dilakukan. Selain itu, tujuan dan objektif kajian disenaraikan secara terperinci di dalam bab tersebut. Selanjutnya, Bab II membincangkan beberapa kajian literatur tentang kitaran hidrologi, proses penyusupan, kajian tentang pengurusan air ribut, makroliang buatan dan kajian-kajian yang telah dilakukan menggunakan perisian HYDRUS 2D/3D. Metodologi kajian dijelaskan secara terperinci di dalam Bab III. Analisis dan keputusan kajian yang merujuk kepada objektif kajian yang telah disenaraikan di dalam Bab I dibincangkan di dalam Bab IV. Kesimpulan merujuk pada objektif kajian disenaraikan di dalam Bab V. Selain itu, Bab V juga menjelaskan beberapa implikasi penemuan dan cadangan kajian untuk penyelidikan selanjutnya.

## RUJUKAN

- Abas, A. I. and Hashim, M. (2014). Change detection of runoff-urban growth relationship in urbanised watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 18(1), 1-6.
- Abdullah, K. (2004). Stormwater management and road tunnel (SMART) a lateral approach to flood mitigation works. Proceedings of the 2004 *International Conference on Bridge Engineering and Hydraulic Structures*. 26-28 July. Selangor, Malaysia, 59-79.
- Aiello, R., Bagarello, V., Barbagallo, S., Consoli, S., Di Prima, S., Giordano, G., et al. (2014). An assessment of the Beerkan method for determining the hydraulic properties of a sandy loam soil. *Geoderma*. 235–236, 300-307.
- Akay, O., Fox, G. A. and Šimůnek, J. (2008). Numerical Simulation of Flow Dynamics during Macropore–Subsurface Drain Interactions Using HYDRUS. *Vadose Zone J.* 7(3), 909-918.
- Allaire-Leung, S. E., Gupta, S. C. and Moncrief, J. F. (2000a). Water and solute movement in soil as influenced by macropore characteristics: 1. Macropore continuity. *Journal of Contaminant Hydrology*. 41(3–4), 283-301.
- Allaire-Leung, S. E., Gupta, S. C. and Moncrief, J. F. (2000b). Water and solute movement in soil as influenced by macropore characteristics: 2. Macropore tortuosity. *Journal of Contaminant Hydrology*. 41(3–4), 303-315.
- Angulo-Jaramillo, R., Vandervaere, J.-P., Roulier, S., Thony, J.-L., Gaudet, J.-P. and Vauclin, M. (2000). Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers: A review and recent developments. *Soil and Tillage Research*. 55(1–2), 1-29.
- Ankeny, M. D., Ahmed, M., Kaspar, T. C. and Horton, R. (1991). Simple Field Method for Determining Unsaturated Hydraulic Conductivity. *Soil Science Society of America Journal*. 55(2), 467-470.



- Aronovici, V. S. (1954). The application of the ring infiltrometer to diagnosis of irrigation problems in Southern California. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 35(5), 813-820.
- Aronovici, V. S. (1955). Model Study of Ring Infiltration Performance under Low Initial Soil Moisture. *Soil Science Society of America Journal*. 19(1), 1-6.
- Askari, M. (2010). *Infiltration and Soil Water Movement underneath Japanese Red Pine and Oak Trees*. Doctor of Philosophy in Science Phd, University of Tsukuba, Japan.
- Askari, M., Tanaka, T., Setiawan, B. I. and Saptomo, S. K. (2008). Infiltration characteristics of tropical soil based on water retention data. *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*. 21(3), 215-227.
- Asmaliza, M. N. N., Lariyah, M. S., Rozi, A. and Aminuddin, A. G. (2013). Performance of artificial wetland in removing contaminants from storm water under tropical climate. *Proceedings of the 2013 IAHS-AISH Publication*, 208-216.
- Barbosa, A. E., Fernandes, J. N. and David, L. M. (2012). Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Research*. 46(20), 6787-6798.
- Beven, K. and Germann, P. (1982). Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research*. 18(5), 1311-1325.
- Beven, K. and Germann, P. (2013). Macropores and water flow in soils revisited. *Water Resources Research*. 49(6), 3071-3092.
- Bhattacharyya, R., Fullen, M. A., Davies, K. and Booth, C. A. (2009). Utilizing palm-leaf geotextile mats to conserve loamy sand soil in the United Kingdom. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 130(1-2), 50-58.
- Bowyer-Bower, T. A. S. (1993). Effects of rainfall intensity and antecedent moisture on the steady-state infiltration rate in a semi-arid region. *Soil Use and Management*. 9(2), 69-75.
- Brakensiek, D. L. and Rawls, W. J. (1994). Soil containing rock fragments: effects on infiltration. *CATENA*. 23(1-2), 99-110.
- Bronick, C. J. and Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 124(1-2), 3-22.
- Brouwer, C., Goffeau, A. and Heibloem, M. (1985). *Introduction to Irrigation*. United States: Food And Agriculture Organization Of The United Nations.

- Budihal, S. L. (1997). A fortran program to classify the textural class of a soil according to the USDA triangular textural diagram. *Journal Indian Society of Soil Science*. 45(2), 382-383.
- Burgy, R. H. and Luthin, J. N. (1956). A test of the single- and double-ring types of infiltrometers. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 37(2), 189-192.
- Buttle, J. M. and Leigh, D. G. (1997). The influence of artificial macropores on water and solute transport in laboratory soil columns. *Journal of Hydrology*. 191(1-4), 290-313.
- Caldwell, T. G., Wöhling, T., Young, M. H., Boyle, D. P. and McDonald, E. V. (2013). Characterizing Disturbed Desert Soils Using Multiobjective Parameter Optimization. *Vadose Zone Journal*. 12(1).
- Castiglione, P., Mohanty, B. P., Shouse, P. J., Simunek, J., van Genuchten, M. T. and Santini, A. (2003). Lateral Water Diffusion in an Artificial Macroporous System. *Vadose Zone J.* 2(2), 212-221.
- Chorley, R. J. (1978). The hillslope hydrological cycle (pp. 1-42). New York: John Wiley & Sons.
- Chu, X. and Mariño, M. A. (2005). Determination of ponding condition and infiltration into layered soils under unsteady rainfall. *Journal of Hydrology*. 313(3-4), 195-207.
- Criddle, W. D., Davis, S., Pair, C. H. and Shockley, D. G. (1956). *Methods for Evaluating Irrigation Systems*. Washington, DC: Soil Conservation Service, US Department of Agriculture.
- Davis, A., Hunt, W., Traver, R. and Clar, M. (2009). Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs. *Journal of Environmental Engineering*. 135(3), 109-117.
- DEH. (2002). Introduction to Urban Stormwater management In australia. from Departement of the Environment and Heritage
- Deodhar, M. (2009). *Elementary Engineering Hydrology*. India: Pearson Education India.
- Diamond, J. and Shanley, T. (2003). Infiltration rate assessment of some major soils. *Irish Geography*. 36(1), 32-46.
- DID. (2000). Urban Stormwater Management Manual for Malaysia (MSMA 1st Edition). Kuala Lumpur: Department of Irrigation and Drainage.

- DID. (2009). DID Manual. Kuala Lumpur: Department of Irrigation and Drainage.
- DID. (2012). Urban Stormwater Management Manual for Malaysia (MSMA 2nd Edition). Kuala Lumpur: Department of Irrigation and Drainage.
- DID. (2013). Stormwater Management - Activities. Kuala Lumpur: Department of Irrigation and Drainage.
- Dinesh, R., Suryanarayana, M. A., Ghoshal Chaudhuri, S. and Sheeja, T. E. (2004). Long-term influence of leguminous cover crops on the biochemical properties of a sandy clay loam Fluventic Sulfaquent in a humid tropical region of India. *Soil and Tillage Research*. 77(1), 69-77.
- DSM. (2011). Population Distribution And Basic Demographic Characteristic Report 2010. Putrajaya: Department of Statistics Malaysia.
- Dunne, T., Zhang, W. and Aubry, B. F. (1991). Effects of Rainfall, Vegetation, and Microtopography on Infiltration and Runoff. *Water Resources Research*. 27(9), 2271-2285.
- Durner, W. (1994). Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resources Research*. 30(2), 211-223.
- Emerson, W. (1995). Water-retention, organic-C and soil texture. *Soil Research*. 33(2), 241-251.
- EPA. (2003). Protecting water quality for urban runoff (Publication no. EPA 841-F-03-003). USA: United States Environmental Agency.
- Eshel, G., Levy, G. J., Mingelgrin, U. and Singer, M. J. (2004). Critical Evaluation of the Use of Laser Diffraction for Particle-Size Distribution Analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 68(3), 736-743.
- Felton, P. M. and Lull, H. W. (1963). Suburban hydrology can improve watershed conditions. *Publ. Wks. N. Y.* 94(1), 93-94.
- Feng, L.-H. and Lu, J. (2010). The practical research on flood forecasting based on artificial neural networks. *Expert Systems with Applications*. 37(4), 2974-2977.
- Fitts, C. R. (2013). 1 - Groundwater: The Big Picture. In C. R. Fitts (Ed.), *Groundwater Science (Second Edition)* (pp. 1-22). Boston: Academic Press.
- Franzluebbers, A. J. (2002). Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research*. 66(2), 197-205.

- Gardner, W. R. (1958). Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science*. 85(4), 228-232.
- Gasim, M. B., Surif, S. and Mokhtar, M. (2010). Analisis Banjir Desember 2006: Tumpuan di Kawasan Bandar Segamat, Johor. *Sains Malaysiana*. 39(3), 353-361.
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986). Particle-size Analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part I—Physical and Mineralogical Methods* (pp. 383-411): Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
- Gerakis, A. and Baer, B. (1999). A Computer Program for Soil Textural Classification. *Soil Science Society of America Journal*. 63(4), 807-808.
- Gerke, H. H. and van Genuchten, M. T. (1993). A dual-porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media. *Water Resources Research*. 29(2), 305-319.
- Germann, P. F. and Beven, K. (1985). Kinematic Wave Approximation to Infiltration Into Soils With Sorbing Macropores. *Water Resources Research*. 21(7), 990-996.
- Głąb, T. (2014). Effect of soil compaction and N fertilization on soil pore characteristics and physical quality of sandy loam soil under red clover/grass sward. *Soil and Tillage Research*. 144, 8-19.
- Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A. and Adiguzel, M. C. (2014). Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. *CATENA*. 118, 195-205.
- Gregory, J. H., Dukes, M. D., Jones, P. H. and Miller, G. L. (2006). Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*. 61(3), 117-124.
- Hamilton, G. W. and Waddington, D. V. (1999). Infiltration rates on residential lawns in central Pennsylvania. *Journal of Soil and Water Conservation*. 54(3), 564-568.
- Han, D. (2010). *Concise Hydrology* (1st ed.). UK: Dawei Han and Bookboon.com.
- Hillel, D. (1971). *Soil and Water: Physical Principles and Processes*. New York: Academic Press.
- Hillel, D. (1980). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press.

- Hiraoka, M. and Onda, Y. (2012). Factors affecting the infiltration capacity in bamboo groves. *Journal of Forest Research*. 17(5), 403-412.
- Holzapfel, E. A., Jara, J., Zuñiga, C., Mariño, M. A., Paredes, J. and Billib, M. (2004). Infiltration parameters for furrow irrigation. *Agricultural Water Management*. 68(1), 19-32.
- Hoogmoed, W. B. and Bouma, J. (1980). A Simulation Model for Predicting Infiltration into Cracked Clay Soil1. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44(3), 458-461.
- Iversen, B. V., Moldrup, P., Schjønning, P. and Loll, P. (2001). Air and water permeability in differently textured soils at two measurement scales. *Soil Science*. 166(10), 643-659.
- Izadi, B., King, B. and Ashraf, M. S. (1997). Evaluation of the portable furrow infiltrometer. *Agricultural Water Management*. 34(3), 207-215.
- Jacques, D., Šimůnek, J., Mallants, D. and van Genuchten, M. T. (2008). Modeling Coupled Hydrologic and Chemical Processes: Long-Term Uranium Transport following Phosphorus Fertilization. *Vadose Zone Journal*. 7(2), 698-711.
- Jamaluddin, M. J. (1985). Flash Flood Problems And Human Responses To The Flash Flood Hazard In Kuala Lumpur Area, Peninsular Malaysia. *Akademika*. 26, 45-62.
- Jarvis, N. (1991). *MACRO A Model Of Water Movement And Solute Transport In Macroporous Soil*. Doctoral, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Johnson, A. I. (1963). *A field method for measurement of infiltration*: US Government Printing Office.
- Kays, B. L. (1980). Relationship of Forest Destruction and Soil Disturbance to Increased Flooding in The Suburban North Carolina Piedmont1. Proceedings of the 1980 *METRIA 3: Proceedings of the Third Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance (METRIA)*.
- Kelling, K. A. and Peterson, A. E. (1975). Urban Lawn Infiltration Rates and Fertilizer Runoff Losses under Simulated Rainfall. *Soil Science Society of America Journal*. 39(2), 348-352.
- Kettler, T. A., Doran, J. W. and Gilbert, T. L. (2001). Simplified Method for Soil Particle-Size Determination to Accompany Soil-Quality Analyses. *Soil Science Society of America Journal*. 65(3), 849-852.

- Kia, M., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A., Sulaiman, W. and Moradi, A. (2012). An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*. 67(1), 251-264.
- Klados, G., Yeoh, H. K., Parks, D. R. and Tavender, D. T. (2007). Stormwater management and road tunnel (SMART). Proceedings of the 2007 "Proceedings of the 33rd ITA-AITES World Tunnel Congress - Underground Space - The 4th Dimension of Metropolises", 1183-1189.
- Klute, A. (1952). Some Theoretical Aspects of the Flow of Water in Unsaturated Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 16(2), 144-148.
- Kok, K. H., Sidek, L. M., Abidin, M. R. Z., Basri, H., Muda, Z. C. and Beddu, S. (2013). Evaluation of green roof as green technology for urban stormwater quantity and quality controls. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 16(1), 012045.
- Kosugi, K. i. (1996). Lognormal Distribution Model for Unsaturated Soil Hydraulic Properties. *Water Resources Research*. 32(9), 2697-2703.
- Lal, R. (1991). Soil Structure and Sustainability. *Journal of Sustainable Agriculture*. 1(4), 67-92.
- Langdale, G. W., West, L. T., Bruce, R. R., Miller, W. P. and Thomas, A. W. (1992). Restoration of eroded soil with conservation tillage. *Soil Technology*. 5(1), 81-90.
- Lenhard, R. J., Parker, J. C. and Kaluarachchi, J. J. (1991). Comparing Simulated and Experimental Hysteretic Two-Phase Transient Fluid Flow Phenomena. *Water Resources Research*. 27(8), 2113-2124.
- Lentz, R. D. and Bjorneberg, D. L. (1999). Influence of Irrigation Water Properties on Furrow Infiltration: Temperature Effects Proceedings of the 1999 10th International Soil Conservation Organization Meeting Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 705-709.
- Liebens, J. (2001). Spreadsheet macro to determine usda soil textural subclasses. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32(1-2), 255-265.
- Liew, Y. S., Selamat, Z., Ghani, A. A. and Zakaria, N. A. (2012). Performance of a dry detention pond: Case study of Kota Damansara, Selangor, Malaysia. *Urban Water Journal*. 9(2), 129-136.
- Ma, Y., Feng, S., Zhan, H., Liu, X., Su, D., Kang, S., et al. (2010). Water Infiltration in Layered Soils with Air Entrapment: Modified Green-Ampt Model and

- Experimental Validation. *Journal of Hydrologic Engineering*. 16(8), 628-638.
- Manuwa, S. I. (2009). Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. *Soil and Tillage Research*. 103(2), 399-405.
- Marshall, S. J. (2013). *Hydrology Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*: Elsevier.
- Marshall, S. J. (2014). *The Water Cycle Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Netherlands: Elsevier.
- Marshall, T. J., Holmes, J. W. and Rose, C. W. (1996). *Soil Physics* (3d ed.): Cambridge University Press.
- Marshall, T. J. and Strik, G. B. (1949). Pressure potential of water moving downward into soil. *Soil Science*. 68(5), 359-370.
- McPherson, M. B. and Schneider, W. J. (1974). Problems in modeling urban watersheds. *Water Resources Research*. 10(3), 434-440.
- Meerveld, I. T.-v. and Weiler, M. (2008). Hillslope dynamics modeled with increasing complexity. *Journal of Hydrology*. 361(1–2), 24-40.
- Miller, R. D. and Richard, F. (1952). Hydraulic Gradients During Infiltration in Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 16(1), 33-38.
- Minasny, B., McBratney, A. B. and Bristow, K. L. (1999). Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. *Geoderma*. 93(3–4), 225-253.
- Mishra, S. K., Tyagi, J. V. and Singh, V. P. (2003). Comparison of infiltration models. *Hydrological Processes*. 17(13), 2629-2652.
- Mitchelson, A. T. and Muckel, D. C. (1937). *Spreading water for storage underground* (Vol. 576): US Dept. of Agriculture.
- Miyazaki, T. (2006). *Water flow in soils* (2nd ed.): Taylor & Francis.
- Mohanty, B. P., Bowman, R. S., Hendrickx, J. M. H. and van Genuchten, M. T. (1997). New piecewise-continuous hydraulic functions for modeling preferential flow in an intermittent-flood-irrigated field. *Water Resources Research*. 33(9), 2049-2063.
- Moldrup, P., Olesen, T., Komatsu, T., Schjønning, P. and Rolston, D. E. (2001). Tortuosity, Diffusivity, and Permeability in the Soil Liquid and Gaseous Phases. *Soil Science Society of America Journal*. 65(3), 613-623.

- Moldrup, P., Poulsen, T. G., Schjønning, P., Olesen, T. and Yamaguchi, T. (1998). Gas permeability in undisturbed soils: Measurements and predictive models. *Soil Science*. 163(3), 180-189.
- Moradzadeh, M., Moazed, H., Sayyad, G. and Khaledian, M. (2014). Transport of nitrate and ammonium ions in a sandy loam soil treated with potassium zeolite – Evaluating equilibrium and non-equilibrium equations. *Acta Ecologica Sinica*. 34(6), 342-350.
- Moret-Fernández, D., Latorre, B. and González-Cebollada, C. (2012). Microflowmeter–tension disc infiltrometer: Part II – Hydraulic properties estimation from transient infiltration rate analysis. *Journal of Hydrology*. 466–467, 159-166.
- Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*. 12(3), 513-522.
- Muntz, M. A. (1908). Influence of the permeability of soils on the conditions and success of irrigation. *Direction Hydraulique Agricoles Annales*. 38, 17.
- Oki, T. (2006). The Hydrologic Cycles and Global Circulation *Encyclopedia of Hydrological Sciences*: John Wiley & Sons, Ltd.
- Oki, T. and Kanae, S. (2006). Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science*. 313(5790), 1068-1072.
- Ooshaksaraie, L., Basri, N. E. A., Bakar, A. A. and Maulud, K. N. A. (2012). RP3CA: An expert system applied in stormwater management plan for construction sites in Malaysia. *Expert Systems with Applications*. 39(3), 3692-3701.
- Osunbitan, J. A., Oyedele, D. J. and Adekalu, K. O. (2005). Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. *Soil and Tillage Research*. 82(1), 57-64.
- Pardo, A., Amato, M. and Chiarandà, F. Q. (2000). Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant growth and water distribution. *European Journal of Agronomy*. 13(1), 39-45.
- Paul, M. J. and Meyer, J. L. (2008). Streams in the Urban Landscape. In J. Marzluff, E. Shulenberger, W. Endlicher, M. Alberti, G. Bradley, C. Ryan, U. Simon & C. ZumBrunnen (Eds.), *Urban Ecology* (pp. 207-231): Springer US.



- Pitt, R., Chen, S., Clark, S., Swenson, J. and Ong, C. (2008). Compaction's Impacts on Urban Storm-Water Infiltration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 134(5), 652-658.
- Pitt, R., Lantrip, J., Harrison, R., Henry, C. L. and Xue, D. (1999). Infiltration through disturbed urban soils and compost-amended soil effects on runoff quality and quantity (pp. 204). Ohio: National Risk Management Research Laboratory.
- Post, W. M. and Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*. 6(3), 317-327.
- Pudasaini, M., Shrestha, S. and Riley, S. (2004). Application of Water Erosion Prediction Project (WEPP) to estimate soil erosion from single storm rainfall events from construction sites. Proceedings of the 2004 *SuperSoil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference* University of Sydney, Australia, 1-7.
- Rahman, S. and Chen, Y. (2001). Laboratory investigation of cutting forces and soil disturbance resulting from different manure incorporation tools in a loamy sand soil. *Soil and Tillage Research*. 58(1-2), 19-29.
- Ramos, T. B., Gonçalves, M. C., Martins, J. C., van Genuchten, M. T. and Pires, F. P. (2006). Estimation of Soil Hydraulic Properties from Numerical Inversion of Tension Disk Infiltrometer Data. *Vadose Zone Journal*. 5(2), 684-696.
- Rashid, N. S. A., Askari, M., Tanaka, T., Simunek, J. and van Genuchten, M. T. (2015). Inverse estimation of soil hydraulic properties under oil palm trees. *Geoderma*. 241-242(0), 306-312.
- Rawls, W., Brakensiek, D. and Saxton, K. (1982). Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE*. 25(5), 1316-1320.
- Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M. and Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*. 116(1-2), 61-76.
- Reynolds, W. D. and Elrick, D. E. (1991). Determination of Hydraulic Conductivity Using a Tension Infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*. 55(3), 633-639.
- Richards, L. (1947). Pressure-membrane apparatus, construction and use. *Agricultural Engineering*. 28(10), 451-454.

- Richards, L. (1952). Report of the Subcommittee on Permeability and Infiltration, Committee on Terminology, Soil Science Society of America. *Soil Science Society of America Journal*. 16(1), 85-88.
- Robinson, A. R. and Rohwer, C. (1957). Measurement of Canal Seepage. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. 122(1), 347-363.
- Roul, A. K., Raheman, H., Pansare, M. S. and Machavaram, R. (2009). Predicting the draught requirement of tillage implements in sandy clay loam soil using an artificial neural network. *Biosystems Engineering*. 104(4), 476-485.
- Rühlmann, J., Körschens, M. and Graefe, J. (2006). A new approach to calculate the particle density of soils considering properties of the soil organic matter and the mineral matrix. *Geoderma*. 130(3-4), 272-283.
- Sahu, R. K. and Raheman, H. (2006). An approach for draft prediction of combination tillage implements in sandy clay loam soil. *Soil and Tillage Research*. 90(1-2), 145-155.
- Sansoulet, J., Cabidoche, Y.-M., Cattan, P., Ruy, S. and Šimůnek, J. (2008). Spatially Distributed Water Fluxes in an Andisol under Banana Plants: Experiments and Three-Dimensional Modeling. *Vadose Zone Journal*. 7(2), 819-829.
- Schwartz, R. C., Evett, S. R. and Unger, P. W. (2003). Soil hydraulic properties of cropland compared with reestablished and native grassland. *Geoderma*. 116(1-2), 47-60.
- Schwen, A., Bodner, G., Scholl, P., Buchan, G. D. and Loiskandl, W. (2011). Temporal dynamics of soil hydraulic properties and the water-conducting porosity under different tillage. *Soil and Tillage Research*. 113(2), 89-98.
- Sejna, M. and Simunek, J. (2007). *HYDRUS (2D/3D): Graphical user interface for the HYDRUS software package simulating two- and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media*. Prague, Czech Republic: PC-Progress.
- Setiawan, B. I. (1992). *Studies on infiltration in soil having a macropore*. Phd, The University of Tokyo, Japan.
- Shaykewich, C. F. (1970). Hydraulic properties of disturbed and undisturbed soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 50(3), 431-437.
- Sibarani, R. and Bambang, D. S. (2009). *Penelitian Biopori Untuk Menentukan Laju Resap Air Berdasarkan Variasi Umur dan Jenis Sampah*. Sarjana Teknik dan

- Lingkungan Undergraduate, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sidek, L. M., Takara, K., Zakaria, N. A., Ghani, A. A. and Abdullah, R. (2004). An Assessment of Stormwater Management Practices Using MSMA Manual in Malaysia. *Proceedings of the 2004 Proceedings of the 1st International Conference on Managing Rivers in the 21st Century: Issues and Challenges (RIVERS04)* Penang, Malaysia, 479-495.
- Šimůnek, J., Angulo-Jaramillo, R., Schaap, M. G., Vandervaere, J.-P. and van Genuchten, M. T. (1998). Using an inverse method to estimate the hydraulic properties of crusted soils from tension-disc infiltrometer data. *Geoderma*. 86(1-2), 61-81.
- Šimůnek, J., Jarvis, N. J., van Genuchten, M. T. and Gärdenäs, A. (2003). Review and comparison of models for describing non-equilibrium and preferential flow and transport in the vadose zone. *Journal of Hydrology*. 272(1-4), 14-35.
- Simunek, J. and van Genuchten, M. T. (1997). Estimating unsaturated soil hydraulic properties from multiple tension disc infiltrometer data. *Soil Science*. 162(6), 383-398.
- Šimůnek, J. and van Genuchten, M. T. (1996). Estimating Unsaturated Soil Hydraulic Properties from Tension Disc Infiltration Data by Numerical Inversion. *Water Resources Research*. 32(9), 2683-2696.
- Šimůnek, J. and van Genuchten, M. T. (2008). Modeling Nonequilibrium Flow and Transport Processes Using HYDRUS. *Vadose Zone Journal*. 7(2), 782-797.
- Simunek, J., van Genuchten, M. T. and Sejna, M. (2006). *The HYDRUS software package for simulating two- and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media: Technical manual*. Prague, Czech Republic: PC-Progress.
- Šimůnek, J., van Genuchten, M. T. and Sejna, M. (2000). The DISC computer software for analyzing tension disc infiltrometer data by parameter estimation. Version 1.0. *US Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California*.
- Šimůnek, J., van Genuchten, M. T. and Šejna, M. (2008). Development and Applications of the HYDRUS and STANMOD Software Packages and Related Codes. *Vadose Zone Journal*. 7(2), 587-600.

- Simunek, J., Vogel, T. and van Genuchten, M. T. (1994). The SWMS\_2D Code For Simulating Water Flow And Solute Transport In Two Dimensional Variably Saturated Media (Version 1.21). California: U.S. Department of Agriculture.
- Šimůnek, J., Wendroth, O. and van Genuchten, M. T. (1999). Estimating unsaturated soil hydraulic properties from laboratory tension disc infiltrometer experiments. *Water Resources Research*. 35(10), 2965-2979.
- Šimůnek, J., Wendroth, O., Wypler, N. and Van Genuchten, M. T. (2001). Non-equilibrium water flow characterized by means of upward infiltration experiments. *European Journal of Soil Science*. 52(1), 13-24.
- Siyal, A. A., van Genuchten, M. T. and Skaggs, T. H. (2013). Solute transport in a loamy soil under subsurface porous clay pipe irrigation. *Agricultural Water Management*. 121, 73-80.
- Starr, J. L. (1990). Spatial and Temporal Variation of Ponded Infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54(3), 629-636.
- Subramanya, K. (1984). *Engineering hydrology* (2nd ed.). New York: Tata McGraw-Hill Education Company Limited.
- Tanaka, T., Tsujimura, M. and Taniguchi, M. (1991). Infiltration area of stemflow-induced water. Japan: University of Tsukuba.
- Teh, C. and Rashid, M. (2003). Object-oriented code to lookup soil texture classes for any soil classification scheme. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 34(1-2), 1-11.
- Toriman, M. E., Hassan, A. J., Gazim, M. B., Mokhtar, M., Mastura, S. S., Jaafar, O., et al. (2009). Integration of 1-D hydrodynamic model and Gis approach in flood management study in Malaysia. *Research Journal of Earth Sciences*. 1(1), 22-27.
- Tuli, A., Hopmans, J. W., Rolston, D. E. and Moldrup, P. (2005). Comparison of Air and Water Permeability between Disturbed and Undisturbed Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 69(5), 1361-1371.
- Tunji, L. A. Q., Latiff, A. A. A., Tjahjanto, D. and Akib, S. (2011). The effectiveness of groundwater recharges well to mitigate flood. *International Journal of Physical Sciences*. 6(1), 8-14.
- Turner, E. R. (2006). *Comparison of infiltration equations and their field validation with rainfall simulation. Comparison of infiltration equations and their field*

- validation with rainfall simulation.* Master, University of Maryland, Maryland.
- USEPA. (2014). Stormwater Basic Information. from United States Environmental Protection Agency
- Valiantzas, J. D., Aggelides, S. and Salsalou, A. (2001). Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. *Agricultural Water Management*. 52(1), 17-32.
- van Genuchten, M. T. (1980). A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 44(5), 892-898.
- van Schaik, N. L. M. B., Hendriks, R. F. A. and van Dam, J. C. (2010). Parameterization of Macropore Flow Using Dye-Tracer Infiltration Patterns in the SWAP Model. *Vadose Zone J.* 9(1), 95-106.
- Ventrella, D., Losavio, N., Vonella, A. V. and Leij, F. J. (2005). Estimating hydraulic conductivity of a fine-textured soil using tension infiltrometry. *Geoderma*. 124(3-4), 267-277.
- Viessman, W., L. L. G. and Knapp, J. W. (1977). *Introduction to hydrology*. New York: Harper and Rion Publication.
- Wall, A. and Heiskanen, J. (2003). Water-retention characteristics and related physical properties of soil on afforested agricultural land in Finland. *Forest Ecology and Management*. 186(1-3), 21-32.
- Warrick, A. W. (1992). Models for disc infiltrometers. *Water Resources Research*. 28(5), 1319-1327.
- Weiler, M. (2005). An infiltration model based on flow variability in macropores: development, sensitivity analysis and applications. *Journal of Hydrology*. 310(1-4), 294-315.
- Weiler, M. and Naef, F. (2003). Simulating surface and subsurface initiation of macropore flow. *Journal of Hydrology*. 273(1-4), 139-154.
- Winston, R. J., Hunt, W. F., Kennedy, S. G., Merriman, L. S., Chandler, J. and Brown, D. (2013). Evaluation of floating treatment wetlands as retrofits to existing stormwater retention ponds. *Ecological Engineering*. 54(0), 254-265.
- Wooding, R. A. (1968). Steady Infiltration from a Shallow Circular Pond. *Water Resources Research*. 4(6), 1259-1273.

- Yu, X., Duffy, C., Baldwin, D. C. and Lin, H. (2014). The role of macropores and multi-resolution soil survey datasets for distributed surface–subsurface flow modeling. *Journal of Hydrology*. 516, 97-106.
- Zakaria, N. A., Ab Ghani, A., Abdullah, R., Sidek, L. M., Kassim, A. and Ainan, A. (2004). MSMA–A New Urban Stormwater Management Manual for Malaysia. Proceedings of the 2004 *The 6th International Conference on Hydroscience and Engineering (ICHE-2004)* Brisbane, Australia.
- Zakaria, N. A., Ghani, A. A. and Chang, C. K. (2014). MSMA 2nd Edition–Application of Green Infrastructures for Solving Sustainable Urban Stormwater Management Challenges. Proceedings of the 2014 *Persidangan Air Kebangsaan 2014 (PAM 2014)*. 4-6 November 2014. Alor Setar, Kedah.
- Zhou, B., Li, S., Wang, Q., Jiang, Y. and Li, Y. (2012). Effects of macropore continuity on water movement and solute transport in a loessial soil. *Australian Journal of Crop Science*. 6(6), 1024.
- Zhou, B. B., Li, Y., Wang, Q. J., Jiang, Y. L. and Li, S. (2013). Preferential water and solute transport through sandy soil containing artificial macropores. *Environmental Earth Sciences*. 70(5), 2371-2379.