

PENURUNAN RISIKO BANJIR MENGGUNAKAN KOLAM TAKUNGAN KERING

Oleh

NOR'EDAH BINTI ASMUNI

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat
keperluan untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN AWAM)

Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam
Universiti Sains Malaysia

MEI 2006

PENGHARGAAN

Alhamdulillah. terlebih dahulu saya memanjatkan rasa syukur yang tidak terhingga kerana dengan izin-Nya dapat saya menyelesaikan projek tahun akhir ini. Berkat dari usaha, kesabaran dan ketekunan saya sepanjang dua semester akhirnya tesis ini terhasil.

Dalam kesempatan ini, setinggi - tinggi penghargaan yang saya tujukan kepada penyelia projek tahun akhir saya iaitu Profesor Madya Dr. Aminuddin Abdul Ghani yang telah banyak meluangkan masa dan memberikan tunjuk ajar kepada saya sepanjang tempoh pelaksanaan projek ini. Tidak lupa kepada Timbalan Dekan Akademik(TDAPP) Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, Dr Sanusi S Ahamad yang sentiasa memberi peringatan kepada semua pelajar tahun akhir. Kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam (PPKA) dan Pusat Penyelidikan Kejuruteraan Sungai dan Saliran Bandar (REDAC) juga diucapkan terima kasih yang kerana telah bekerjasama sepanjang saya menggunakan semua kelengkapan dan peralatan untuk menyelesaikan projek ini.

Kepada Pegawai Sains REDAC, Encik Mohd Fazly Bin Yusoff dan semua juruteknik REDAC yang telah banyak membantu saya iaitu En Mohamad Fauzi bin Ahmad Shah , En Rahim bin Ghazali, En Mohamad Firdaus bin Talib dan En Othman bin Zainuddin saya amat menghargai segala sumbangan tenaga dan idea dalam melaksanakan kajian ini. Begitu juga kepada semua rakan-rakan, ibubapa dan keluarga yang banyak memberikan kata perangsang kepada saya, terima kasih diucapkan.

Segala kerjasama daripada anda semua menjadi pendorong untuk saya menyiapkan projek tahun akhir saya ini dengan jayanya.

ABSTRAK

Kesan daripada pembangunan membawa kepada masalah peningkatan kadar alir dan isipadu air larian dan peningkatan risiko banjir yang serius. Justeru itu, konsep kawalan kuantiti dan kawalan kualiti yang berdasarkan konsep kawalan di punca telah mula diaplikasikan. Kajian ini mengkaji keberkesanan Sistem Saliran Bio-ekologikal (BIOECODS) yang menggunakan kombinasi sistem penyusupan, storan penahan, saluran serta perawatan dan pelambatan aliran seperti yang terkandung di dalam Manual Saliran Mesra Alam (MSMA). Kajian “Penurunan Risiko Banjir menggunakan Kolam Takungan Kering” telah dijalankan bagi mengkaji keberkesanan salah satu komponen BIOECODS iaitu kolam takungan kering sebagai storan dan keupayaannya menampung isipadu air larian. Keputusan daripada ujikaji yang dijalankan menunjukkan bahawa penggunaan kolam takungan kering adalah efektif untuk menampung isipadu air larian dengan jumlah yang besar, melambatkan aliran dan seterusnya mengelakkan risiko banjir kilat. Ujian Infiltrometer dan Analisis Ayak dijalankan untuk membuktikan keberkesanan kolam takungan kering menyusup secara perlahan dan seterusnya mengecilkan aliran puncak. Daripada kajian ini, didapati kolam takungan kering yang dikaji adalah berkesan untuk menurunkan aliran puncak, bertindak sebagai storan air larian pada isipadu tertentu dan boleh diaplikasikan untuk menurunkan risiko banjir kilat.

ABSTRACT

Effect of urbanizations on increasing peak discharge and volume of runoff caused serious flood risk impact. Therefore, quantity and quality control of runoff by control at source concept have been implemented. This research studies the effectiveness of Bio-Ecological Drainage System (BIOECODS) that combine the system of infiltration, storage, flow retardation, swale and water treatment as stated in Urban Stormwater Management Manual (MSMA). A study of “Flood Risk Reduction Using Dry Pond” have been completed to study one of BIOECODS component, dry pond as runoff storage and its capability to retain stormwater runoff. The result from this research show that dry ponds application are effective to retain a volume of stormwater runoff, reduce peak flow and reduce flood risk impact. Infiltration test and sieve analysis test were carried out to know the dry pond effectiveness to infiltrate through the soil and reduce the peak flow. From the study it is concluded that the dry ponds are effective to reduce peak flow, detention storage system at certain volume and can be use as an application to reduce the flood risk.

KANDUNGAN

MUKASURAT

PENGHARGAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KANDUNGAN	iv - vi
SENARAI RAJAH	vii - ix
SENARAI JADUAL	x - xi
SENARAI LAMPIRAN	xii

BAB 1	Pengenalan	
1.1	Pernyataan Masalah	1
1.2	Objektif Projek	
1.2.1	Objektif Umum	3
1.2.2	Objektif Kajian	3
1.3	Skop Kajian	4
BAB 2	Kajian Literatur	
2.1	Pengenalan	5
2.2	Kesan Pembangunan Terhadap Air Larian Hujan	6
2.3	Kesan Hidrologi Oleh Pembangunan	7
2.4	Pengawalan Air Larian Ribut Untuk Mengatasi Masalah Banjir	9
2.4.1	Pengawalan Pada Punca	12

	2.4.2	Kolam Takungan	13
	2.4.3	Rekabentuk Kolam Takungan Kering	15
	2.4.4	Prosedur Rekabentuk Storan Banjir	20
2.5		Kajian Kes 1: Sistem BIOECODS di Universiti Sains Malaysia	22
2.6		Kajian Kes 2 :Kawalan Air larian Ribut dan Aplikasi Amalan Pengurusan Terbaik (BMP) di Bandar Augustenborg, Malmo, Sweden	28
	2.6.1	Rangkaian Penyaliran	30
	2.6.2	Metodologi	32
	2.6.3	Keputusan	34
2.7		Kesimpulan	36
BAB 3		METODOLOGI	
	3.1	Pengenalan	38
	3.2	Lokasi Projek	38
	3.3	Menandakan grid 5m x 5m	39
	3.4	Kerja Ukur Aras	41
	3.5	Pencerapan data aras air selepas hujan	43
	3.6	Pemetaan Kolam Kering	45
	3.7	Ujian Ketelapan Tanah	
	3.7.1	Ujian Analisis Ayak	45
	3.7.2	Ujian Infiltrometer	48
BAB 4		KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	

4.1	Penggridan Kolam Takungan	50
4.2	Kerja Ukur Aras Dan Isipadu Kolam Takungan	50
4.3	Pencerapan Data Aras Air	57
4.4	Ujian Analisis Ayak	86
4.5	Ujian Infiltrometer	90
4.6	Perbincangan	
	4.6.1 Pencerapan Data	93
	4.6.2 Rumusan Data Cerapan	95
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	
5.1	Kesimpulan	100
5.2	Cadangan	102
	RUJUKAN	103
	LAMPIRAN A	
	LAMPIRAN B	
	LAMPIRAN C	
	LAMPIRAN D	
	LAMPIRAN E	
	LAMPIRAN F	

SENARAI RAJAH

- Rajah 1.0 : Pelan Pengurusan Air larian Ribut secara Ekological (JPS, 2000).
- Rajah 2.1: Kitar Hidrologi (www.water.gov.my/division/river/stormwater/Chapter_2.htm)
- Rajah 2.2: Kaedah Tipikal Pengurusan Air Ribut MSMA (JPS,2000).
- Rajah 2.3: Kolam Takungan Tipikal (O' Loughin, 1994).
- Rajah 2.4: Aliran Masuk dan Aliran keluar hidrograf (O' Loughin, 1994).
- Rajah 2.5: Contoh Rekabentuk Dry Pond (www.metrocouncil.org/environment/Watershed/BMP/CH3_STDetDryPond.pdf)
- Rajah 2.6: Rajah Skematik Menunjukkan Konsep BIOECODS (Zakaria et al., 2003).
- Rajah 2.7: Aliran di permukaan swale dari sub takungan asrama pelajar kedalam kolam tahanan. (Zakaria et al., 2003).
- Rajah 2.8: Aliran di dalam modul sub-permukaan dari sub-tadahan asrama pelajar ke dalam kolam tahanan (Zakaria et al., 2003) .
- Rajah 2.9: Aliran air dari wetpond ke kolam tahanan (Zakaria et al., 2003).
- Rajah 2.10: Kualiti Air yang diperolehi dari tapak BIOECODS (Zakaria et al., 2004).
- Rajah 2.11: Pelan Kawasan Bandar Augustenborg (Villarreal et al., 2004).
- Rajah 2.12: Kawasan D - kompleks saluran/takungan(Villarreal et al., 2004).
- Rajah 2.13: Kolam Terbuka Hujung (Villarreal et al., 2004).
- Rajah 2.14: Rajah skematik prosedur untuk membuat model (Villarreal et al., 2004).
- Rajah 2.15: Model Hidrograf Sintetik Air Larian Terus Menggunakan Kaedah Luas-Masa (Villarreal et al., 2004).
- Rajah 2.16: Hidrograf Aliran Masuk Kolam Terbuka (Villarreal et al., 2004).
- Rajah 3.1 : Kolam takungan Kering E
- Rajah 3.2 : Kolam takungan Kering K

Rajah 3.3 : Menanam piket di DP E

Rajah 3.4 : Menanam piket di DP K

Rajah 3.5 : Peralatan yang digunakan untuk penggridan.

Rajah 3.6: Memegang staf dengan tegak.

Rajah 3.7 :Teleskop, tripod, dan staff.

Rajah 3.8 : Meneropong ke arah BS dengan lurus.

Rajah 3.9 : Memasukkan maklumat dalam EDM.

Rajah 3.10 : EDM dihalakan ke arah prism untuk mendapat bacaan.

Rajah 3.11: Auger untuk persampelan tanah

Rajah 3.12 : Mengeluarkan tanah dengan penyodok.

Rajah 3.13 : Mendapat sampel dengan tangan.

Rajah 3.14 : Sampel yang telah diambil.

Rajah 3.15 : Ayak mengikut BS 1337.

Rajah 3.16 : Ayak diatas mesin ayak selama 10 minit.

Rajah 3.17: Membuang rumput.

Rajah 3.18 :Mengetuk gegelung dengan penukul.

Rajah 3.19 : Menuang air ke dalam gegelung.

Rajah 3.20 : Merekod bacaan.

Rajah 4.1 : Grid Kolam Takungan Kering E

Rajah 4.2 : Grid Kolam Takungan Kering K

Rajah 4.3 : Kontur Kolam Takungan Kering E.

Rajah 4.4 : Kontur DP K Bahagian 2 (20-75 m) paksi- X.

Rajah 4.5 : Kontur DP K Bahagian 1 (0-20 m) paksi X.

Rajah 4.6 : Kedalaman DP K(Bahagian 1) dengan ton warna berbeza.

Rajah 4.7 : Kedalaman DP K(Bahagian 2) dengan ton warna berbeza

Rajah 4.8 : Kedalaman DP E dengan ton warna berbeza

Rajah 4.9 : Keadaan Kolam Takungan Kering Selepas Peristiwa Hujan Pada 21 November 2005

Rajah 4.10 : Contoh Pengiraan Isipadu(V) DP E.

Rajah 4.11 : Masa Pengosongan Air Larian Di Kolam Takungan Kering K Dan E pada 19 November 2005

Rajah 4.12 : Masa Pengosongan Air Larian Di Kolam Takungan Kering E pada 21 November 2005

Rajah 4.13 : Masa Pengosongan Air Larian Di Kolam Takungan Kering K pada 22 November 2005

Rajah 4.14 : Masa Pengosongan Air Larian Di Kolam Takungan Kering K Dan E pada 8 Disember 2005

Rajah 4.15 : Masa Pengosongan Air Larian Di Kolam Takungan Kering K Dan E pada 13 Disember 2005

Rajah 4.16 : Masa Pengosongan Air Larian Di Kolam Takungan Kering K Dan E pada 17 Disember 2005

Rajah 4.17 : Lengkung Penggredan Peratusan Melepasi lawan Saiz Partikel berhampiran UWL 1

Rajah 4.18 : Lengkung Penggredan Peratusan Melepasi lawan Saiz Partikel berhampiran UWL 4

Rajah 4.19 : Lengkung Penyusupan Horton

SENARAI JADUAL

Jadual 2.0 : Kriteria storan yang biasa digunakan (Environment Agency Regions, 1999)

Jadual 2.1 : Kualiti Sampel air pada 26 Julai 2002(Zakaria et al., 2003)

Jadual 2.2 : Kualiti Sampel air pada 5 September 2003

Jadual 2.3 : Kualiti Sampel Air pada 17 Oktober 2002(Zakaria et al., 2003)

Jadual 2.4 : Kawasan penyaliran di Augustenborg yang menunjukkan komponen hidraulik utama dan penggunaan tanah (Villarreal et al., 2004)

Jadual 2.5 : Simulasi aliran masuk ke dalam kolam terbuka dengan melaksanakan Amalan Pengurusan Terbaik dihilir.

Jadual 4.0 : Aras Maksimum dan aras Minimum yang dicerap di DP K dan DP E.

Jadual 4.1 : Data Ketinggian Air Selepas Hujan di DP E pada 19 November 2005

Jadual 4.2 : Data Ketinggian Air Selepas Hujan di DP E pada 21 November 2005

Jadual 4.3 : Data Ketinggian Air Selepas Hujan di DP E pada 08 Disember 2005

Jadual 4.4 : Data Ketinggian Air Selepas Hujan di DP E pada 13 Disember 2005

Jadual 4.5 : Data Ketinggian Air Selepas Hujan di DP E pada 17 Disember 2005

Jadual 4.6 : Data Ketinggian Air Selepas Hujan di DP K pada 19 November 2005

Jadual 4.7 : Data Ketinggian Air Selepas Hujan di DP K pada 21 November 2005

Jadual 4.8 : Data Ketinggian Air Selepas Hujan di DP K pada 08 Disember 2005

Jadual 4.9 : Data Ketinggian Air Selepas Hujan di DP K pada 13 Disember 2005

Jadual 4.10 : Data Ketinggian Air Selepas Hujan di DP K pada 17 Disember 2005

Jadual 4.11: Aras air yang diperolehi dari UWL 4 bagi DP E

Jadual 4.12: Aras air yang diperolehi dari UWL 1 bagi DP K.

Jadual 4.13 : Jumlah isipadu air di DP E yang dicerap secara manual.

Jadual 4.14 : Isipadu air di DP K yang dicerap secara manual.

Jadual 4.15 Pengagihan Saiz Partikel Mengikut Piawaian British BS 1377.

Jadual 4.16 : Peratusan Saiz Partikel Sampel Tanah Atas DP K.

Jadual 4.17 : Peratusan Saiz Partikel Sampel Tanah Bawah DP K.

Jadual 4.18 : Peratusan Saiz Partikel Sampel Tanah Atas DP E.

Jadual 4.19 : Peratusan Saiz Partikel Sampel Tanah Bawah DP E.

Jadual 4.20 : Keputusan Analisis Persamaan Horton bagi DP K.

Jadual 4.21 : Keputusan Analisis Persamaan Horton bagi DP E.

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN A : KERJA UKUR ARAS

Data Kerja Levelling

Data Aras di Setiap Poin DP E

Data Aras di Setiap Poin DP K

LAMPIRAN B : KERATAN RENTAS KAWASAN KAJIAN

Keratan Rentas Aras Ketinggian Takungan Kering E (DP E)

Keratan Rentas Aras Ketinggian Takungan Kering K (DP K)

LAMPIRAN C : PENGIRAAN ISIPADU KOLAM TAKUNGAN KERING

Pengiraan Isipadu DP E Menggunakan Perisian Surfer 32

Pengiraan Isipadu DP K (Bahagian 1 dan Bahagian 2) Menggunakan Perisian Surfer 32

Pengiraan Isipadu DP E dengan isipadu air larian penuh

Pengiraan Isipadu DP K dengan isipadu air larian penuh

LAMPIRAN D : UJIAN ANALISIS AYAK - DATA DAN GRAF

Data – Data Ujian Analisis Ayak di DP E

Data – Data Ujian Analisis Ayak di DP K

Graf – Graf Lengkung Penggredan Bagi DP E

Graf – Graf Lengkung Penggredan Bagi DP K

LAMPIRAN E : UJIAN INFILTROMETER - DATA DAN GRAF

Data – Data Ujian Infiltrometer di DP E

Data – Data Ujian Infiltrometer di DP K

Graf – Graf Lengkung Penyusupan bagi DP E

Graf – Graf Lengkung Penyusupan bagi DP

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pernyataan Masalah

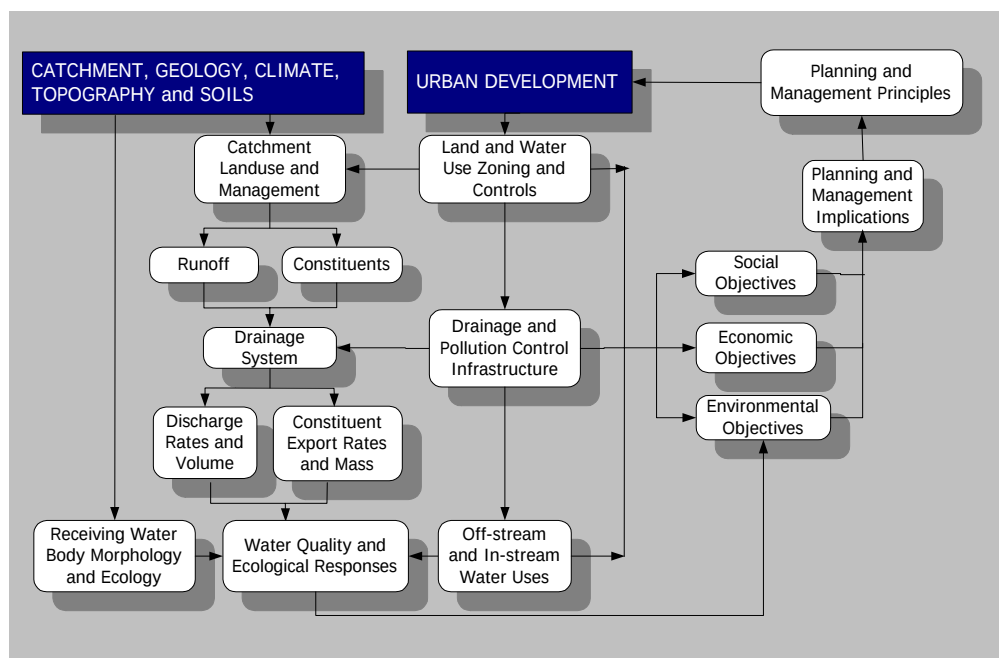
Malaysia kini sedang berusaha mencapai matlamat menjadi negara maju pada tahun 2020. Keadaan ini dibuktikan dengan perkembangan sosio-ekonomi yang pesat sejak dua dekad yang lalu. Perbandaran dan industri telah berkembang di seluruh negara dan dapat dilihat dengan jelas terutamanya di sekitar kawasan Pantai Barat Semenanjung Malaysia. Pembangunan yang pesat ini sedikit sebanyak telah memberikan kesan sampingan kepada alam sekitar, seperti perubahan hidrologi dan ekologi.

Peningkatan populasi penduduk di Malaysia dijangkakan melebihi 30 juta penduduk pada tahun 2020. Menurut kajian, peningkatan populasi bukan sahaja disebabkan peningkatan kadar kelahiran, tetapi disebabkan peningkatan bilangan imigran asing yang berhijrah ke negara ini sama ada untuk bekerja atau menjadi penduduk tetap. Migrasi juga berlaku dari kawasan kampung ke kawasan bandar dan kawasan perindustrian disebabkan adanya kemudahan asas yang sempurna. Dengan perkembangan pambandaran dan perindustrian, dijangkakan pusat bandar dan pekan-pekan akan mencapai sehingga 50% - 60% populasinya. Apa yang membimbangkan ialah, penduduk bandar untuk mencapai kemewahan kehidupan, secara luar kawalan akan meningkatkan kesan negatif terhadap alam sekitar seperti yang telah berlaku hari ini.

Kajian mengenai pencemaran alam sekitar disebabkan air larian ribut telah banyak dilaksanakan. Media elektronik dan media cetak juga semakin kerap membawa masalah ini ke hadapan bagi menyedarkan masyarakat dan agensi bertanggungjawab akan keadaan sebenar di negara ini. Hasil dari kajian yang dijalankan menunjukkan bahawa kawasan bandar merupakan kawasan yang paling teruk tercemar dengan kepekatan bahan pencemar

dalam air larian ribut yang tinggi. Ini menunjukkan bahawa air larian ribut yang tidak dikawal boleh menjadi agen pencemaran alam sekitar yang serius dan menimbulkan masalah seperti banjir kilat, banjir lumpur dari tapak pembinaan, pemendapan lumpur, sampah sarap dan pelbagai masalah lagi.

Maka dengan adanya manual baru Jabatan Pengairan dan Saliran, Manual Saliran Mesra Alam (MSMA) yang telah diluluskan pada tahun 2001, pembangunan yang mapan dapat dilaksanakan pada masa kini. Manual yang mengadaptasi konsep pengurusan air larian ribut dengan Amalan Pengurusan Terbaik (BMP) ini telah mengaplikasikan sistem pengurusan aliran air ribut semulajadi yang sangat mesra alam. Dengan matlamat menjadikan aliran puncak air larian selepas pembangunan sama seperti aliran puncak sebelum pembangunan, konsep takungan digunakan dengan meluas. Ini kerana sistem takungan air larian bukan sahaja melambatkan aliran dan menurunkan kadar alir puncak, tetapi dapat mengawal pencemaran disebabkan air ribut. Pelan pengurusan air larian ribut berdasarkan kesan ekologi dapat dinyatakan seperti Rajah 1.0 di bawah.



Rajah 1.0 : Pelan Pengurusan Air larian Ribut secara Ekological (JPS, 2000)

1.2 OBJEKTIF PROJEK

1.2.1 Objektif Umum

- Memberi pendedahan kepada pelajar untuk melibatkan diri dalam tugas penyelidikan dan mendapatkan maklumat.
- Mengenalpasti masalah-masalah yang wujud dalam tajuk yang diberikan.
- Mengumpul dan menganalisis maklumat bagi tujuan kajian persuratan mengenai topik cadangan.
- Membangunkan kaedah-kaedah yang akan digunakan dalam pengumpulan data di lapangan.
- Menganalisis data yang diperolehi dari kajian.

1.2.2 Objektif Kajian

Penyelidikan mengenai penurunan risiko banjir menggunakan kolam takungan kering mempunyai beberapa objektif yang tertentu iaitu :

- Untuk mengkaji dan menganalisa rekabentuk dan keberkesanan komponen kolam takungan kering (*dry pond*) dalam sistem saliran mesra alam BIOECODS di Kampus Kejuruteraan.
- Memberikan pendedahan tentang kelebihan sistem saliran mesra alam melalui kaedah penyusupan yang perlahan berbanding sistem saliran konvensional yang berkonsepkan pembuangan cepat (*rapid disposal*).
- Kaedah pengawalan berlakunya banjir iaitu kepentingan penyusupan air larian hujan untuk mengawal kejadian banjir kilat.

1.3 SKOP KAJIAN

Matlamat kajian ialah mengumpulkan maklumat mengenai kolam takungan kering yang telah ditentukan oleh pensyarah. Kolam yang dipilih adalah *Dry Pond K* dan *Dry Pond E* di sekitar Kampus Kejuruteraan. Maklumat yang perlu diperolehi ialah aras ketinggian tanah di kolam takungan kering, maklumat jenis tanah dan struktur tanah bagi kajian kejuruteraan penyusupan serta aras air pada setiap kali kejadian hujan semasa tempoh kajian. Kaedah kajian yang perlu dilaksanakan ialah kerja pengukuran aras kolam takungan kering, penandaan kolam takungan mengikut grid 5m X 5m, ujian analisis ayak, ujian infiltrometer dan pemplotan data dan maklumat menggunakan perisian SURFER32. Maklumat dikumpulkan dan dianalisis sesuai untuk menghasilkan laporan bagi projek ini.

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.1 Pengenalan

Malaysia mempunyai keluasan tanah sebanyak 330,000 km persegi. Lebih kurang sebanyak 9% dari keluasan ini, iaitu 29,000 km persegi adalah kawasan tanah rendah yang mudah ditenggelami air dan mengalami banjir. Malaysia terletak di Zon *Equatorial* dimana kita mengalami hujan yang lebat dengan purata hujan tahunan melebihi 3500 mm setahun. Monsun Timur Laut membawa hujan yang lebat ke negeri-negeri pantai timur dan juga ke negeri Sabah dan Sarawak (JPS,2000). Kejadian banjir di Malaysia adalah biasa berlaku. Kekerapan kejadian banjir telah meningkat dari setahun ke setahun selari dengan perkembangan pembangunan yang pesat di Malaysia (Zakaria et al.,2003).

Banjir merupakan antara kesan yang akan berlaku akibat air larian hujan. Pada November 1999, 27 orang telah terbunuh di barat daya Perancis akibat berlaku banjir kilat. Banjir kilat yang kerap berlaku di negara-negara membangun ini menjadi perbincangan hangat dengan penegasan untuk mengurangkan kehilangan nyawa dan kerugian. Walaupun pelbagai jaminan telah diberikan, kehilangan nyawa dan harta benda tetap berlaku secara tidak terkawal (Montz and Grunfest, 2002).

Kajian Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) menunjukkan peningkatan kawasan tidak telap air daripada 0% - 40% boleh meningkatkan kadar aliran puncak sehingga 190% dan memendekkan masa air dialirkan keluar sebanyak 50%. Kajian ini dijalankan di Subang Jaya dan menggambarkan keadaan yang sebenar berlaku dalam kawasan pembangunan pemp bandar Malaysia.

2.2 Kesan Pembangunan Terhadap Air Larian Hujan

Sistem saliran pembangunan adalah infrastuktur penting untuk melindungi penduduk daripada masalah banjir dan penyakit bawaan air. Pendekatan konvensional telah diamalkan di Malaysia dengan membina parit dan longkang konkrit yang berasaskan konsep pembuangan cepat. Membesarkan, mendalamkan dan meluruskan sungai untuk memenuhi keperluan peningkatan aliran puncak adalah merupakan satu opsi yang sering dilaksanakan di negara ini.

Kesan paling ketara oleh pembangunan terhadap kelakuan hidrologi kawasan tadahan ialah peningkatan kawasan tidak telap (*impervious area*) yang mengakibatkan kuantiti air larian ribut bertambah dalam masa yang singkat dan membawa kepada kadar aliran puncak yang lebih tinggi. Peningkatan aliran puncak yang cepat jika melepasi kawasan hilir yang tidak terkawal boleh menyebabkan banjir di kawasan sekitar sama ada disebabkan kapasiti saluran yang tidak mencukupi atau struktur yang terhad (Faulkner, 1999).

Kini telah disedari bahawa fenomena yang dilaksanakan selama ini iaitu penyaliran air ribut berkonsepkan pembuangan cepat membawa kepada masalah baru di hilir sungai. Air larian yang tidak terkawal bukan sahaja mempunyai risiko berlakunya banjir di kawasan hilir malah mempunyai kesan sampingan terhadap habitat di laluan sungai akibat perubahan proses semulajadi morfologi sungai.

Penegasan terhadap kaedah pengawalan air ribut tidak lagi dilaksanakan dan kini dibangunkan dengan kaedah menahan air larian ribut menggunakan kawasan tadahan yang luas. Kaedah ini memerlukan pembinaan kawasan tadahan untuk menakung dan menahan air hujan di sesuatu kawasan pembangunan untuk menurunkan kadar aliran puncak.

Penggunaan kaedah kawalan di punca (*source control*) untuk mengurangkan jumlah air larian hujan yang meningkat di kawasan tadahan pembangunan merupakan kaedah yang efektif. Air larian hujan di kawasan bandar bukan sahaja menjadi punca kepada berlaku masalah banjir kilat, malahan mengakibatkan masalah pencemaran yang serius serta boleh menyebabkan kerosakan kepada sistem saliran air akibat kerap berlaku lebih aliran air ribut pada pembentung.

Selain daripada itu, air larian pembangunan juga akan membawa bersama beban pencemaran termasuk kersik jalanraya, tanah dari kawasan pembinaan, bahan nyah ais, hidrokarbon dan limpahan bahan dari kenderaan. Kesan - kesan ini boleh menyebabkan peningkatan aras banjir yang terlalu tinggi.

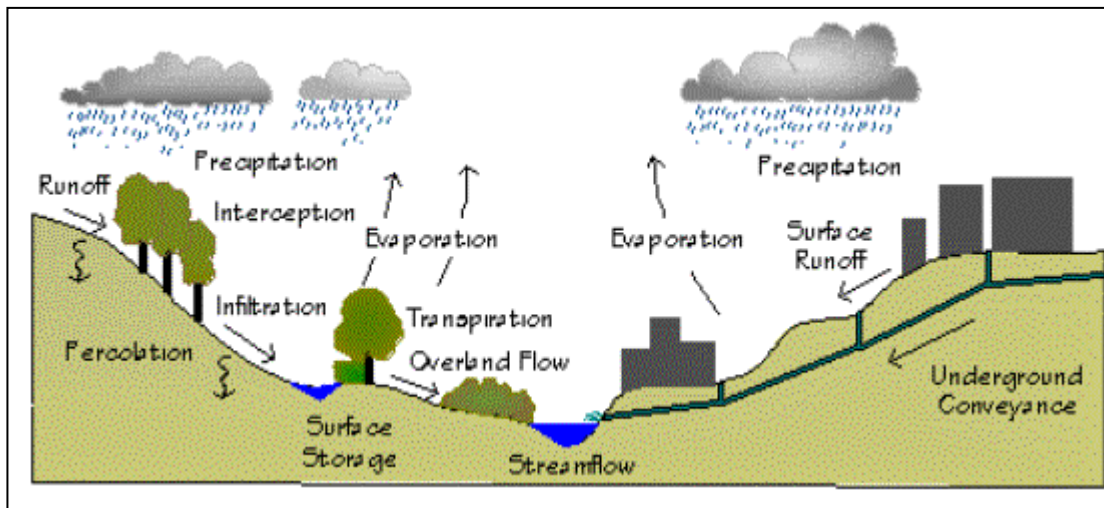
2.3 Kesan Hidrologi Oleh Pembangunan

Pembangunan menyebabkan hidrologi semulajadi dan kriteria penyusupan sebelum pembangunan berubah. Tanah yang masih tidak dibangunkan mempunyai kadar air larian ribut yang rendah kerana kebanyakannya terserap ke dalam tanah, mengalami proses kondensasi atau menyusup secara perlahan menjadi air bumi (Roesner et al, 2001).

Penglibatan tenaga manusia dalam kitaran hidrologi mengakibatkan banyak masalah terhadap air ribut pembangunan. Interaksi antara pembangunan dalaman, saliran kawasan sub-tadahan dan alur air semulajadi adalah kompleks dan hendaklah dilihat secara menyeluruh untuk diuruskan disamping memaksimumkan faedah mengawal air larian ribut untuk mencapai keseimbangan dengan alam sekitar (Masket et al, 1992).

Pengisian atau halangan yang terdapat di dataran banjir semulajadi akan menurunkan keupayaan penyimpanan air dan kapasiti penghantaran lembangan sungai. Kesan lain juga termasuk penurunan aras air bumi disebabkan pengurangan kawasan telap

dimana ia akan menghadkan cas semula lembapan tanah sekaligus akan memberi kesan kepada aliran dasar sungai dan sumber air.



Rajah 2.1: Kitar Hidrologi
(www.water.gov.my/division/river/stormwater/Chapter_2.htm)

2.4 Pengawalan Air Larian Ribut Untuk Mengatasi Masalah Banjir

Beberapa kaedah telah dicadangkan untuk mengurangkan kesan air larian pembangunan terhadap saliran air dan kawasan tadahan di hilir sungai. Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) Malaysia telah melancarkan Manual Saliran Mesra Alam (JPS, 2000) ataupun dikenali sebagai MSMA untuk menyelesaikan masalah air larian pembangunan untuk menggantikan dengan manual pertama. MSMA mengawal pengurusan air larian ribut menggunakan konsep penstoran, memperlahankan aliran dan pengecilan puncak hidrograf. Manual ini mengambilkira masalah yang seringkali berlaku akibat air ribut iaitu banjir kilat, pencemaran sungai, hakisan tanah, pembangunan di tanah tinggi dan lain-lain lagi (Zakaria et al, 2004).

Pengurusan air ribut menggunakan MSMA melibatkan pelbagai langkah struktur dan langkah bukan struktur. Kawalan di punca adalah suatu alternatif untuk pengurangan aliran yang lebih baik. Walaubagaimanapun, penegasan utama dalam teknik ini ialah memperkenalkan Amalan Pengurusan Terbaik (*Best Management Practice*, BMP) sistem penyaliran untuk mengurangkan pencemaran air di permukaan (Faulkner, 2002). Pengurusan air ribut yang diterangkan melibatkan kepelbagaian BMP untuk memperbaiki kualiti dan kuantiti air larian yang memasuki sistem sungai. Antara langkah yang dicadangkan adalah seperti di dalam Rajah 2.2 (JPS 2000).

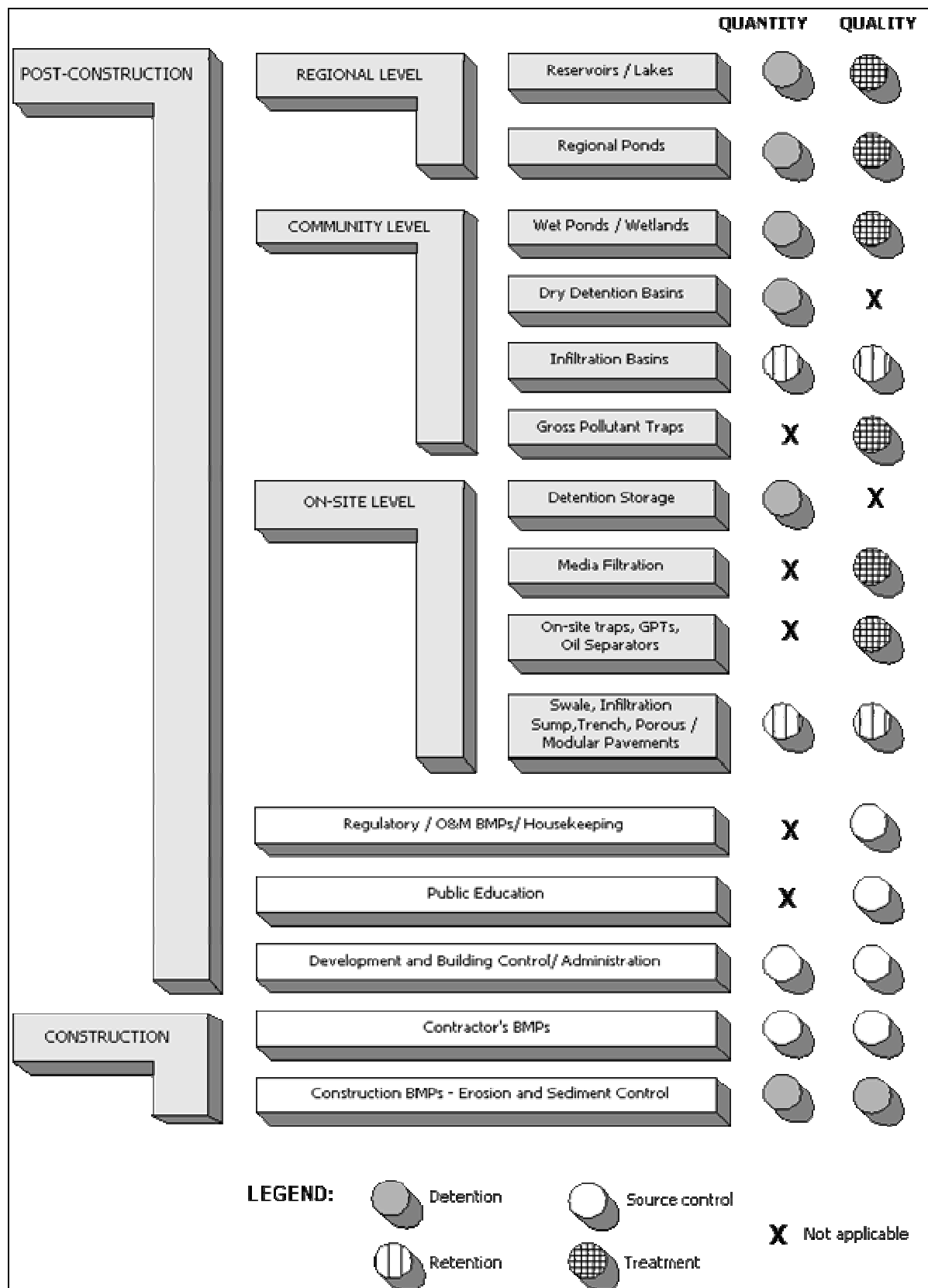
Amalan Pengurusan Terbaik (BMP) boleh didefinisikan sebagai penyelesaian pada keadaan-keadaan seperti berikut iaitu penggunaan tanah, air bumi atau tanah, topografi dan kos dalaman untuk memperbaiki kualiti dan mengawal kuantiti air larian yang memasuki sistem sungai pada kos yang minimum (Wanielista ., Yousef ., 1987). Amalan Pengurusan

Terbaik boleh direkabentuk untuk mempunyai pelbagai fungsi seperti meningkatkan kualiti air larian, mengurangkan risiko banjir dan menyediakan kawasan hijau untuk tujuan rekreasi dan tempat untuk binatang liar di bandar (Faulkner, 1999). Antara Amalan Pengurusan Terbaik yang boleh dilaksanakan di Malaysia ialah kolam takungan, kolam rekreasi, takungan sub permukaan, *wetland*, *wet pond* dan *ecological swale*.

Pelaksanaan struktur BMP di dalam kawasan bandar sedia ada terhalang dengan kekangan masalah kawasan yang terhad, nilai sosial dan kos perlaksanaan. Usaha untuk memulihkan arus sungai dan menggantikan permukaan tidak telap dengan turapan yang telap air juga sudah mula dilaksanakan (Woodworth et al., 2002). Memperlahankan aliran dengan menggunakan alat kawalan tertentu dan menampung storan banjir tertentu adalah praktis BMP yang bertujuan untuk melindungi saliran air di hilir dan kawasan sekitarnya.

Teknik - teknik yang digunakan dalam Amalan Pengurusan Terbaik (BMP) dikategorikan kepada tiga kaedah :

- i. Pengurangan kadar alir air larian yang memasuki sistem saliran dengan menggunakan kaedah pengawalan pada punca.
- ii. Penurunan aliran puncak air larian didalam sistem saliran menggunakan kolam takungan, tangki simpanan dan sistem penghantaran telap air.
- iii. Rawatan pasif terhadap air larian tertahan sebelum mengalir keluar kepada alur air iaitu sistem hujung paip (*end of pipe system*).



Rajah 2.2: Kaedah Tipikal Pengurusan Air Ribut MSMA (JPS, 2000)

Pengurusan air ribut semulajadi terdekat (*near-natural*) melibatkan prinsip penahanan secara mendalam dimana matlamat utamanya adalah memperlahankan air larian menggunakan storan sementara seperti tanah atau atap hijau. Ini merupakan satu kaedah yang membenarkan air hujan menyejat melalui tanah dan tumbuh-tumbuhan. Air larian akan menyusup menjadi air bumi iaitu caj semula air bumi dan sebahagiannya akan dialirkan selepas ditahan buat sementara. Pelaksanaan secara teknikal penyusupan air ribut dibuat dengan pemasangan penyusup (Geiger and Dreitseidl, 2001). Penyusupan masih boleh berlaku tanpa storan iaitu penyusupan permukaan, storan atas tanah iaitu penyusupan *swale* dan storan bawah tanah iaitu penyusupan parit atau lekuk (Gobel, 2004).

2.4.1 Pengawalan Pada Punca

Manual Saliran Mesra Alam (MSMA) yang telah diterbitkan pada Januari 2001 telah memperkenalkan pendekatan kawalan pada punca. Pendekatan ini menggunakan proses-proses penahanan, penyusupan dan penyucian supaya kualiti dan kuantiti air larian dari kawasan pembangunan dikekalkan seperti sebelum dibangunkan (Zakaria et al., 2003).

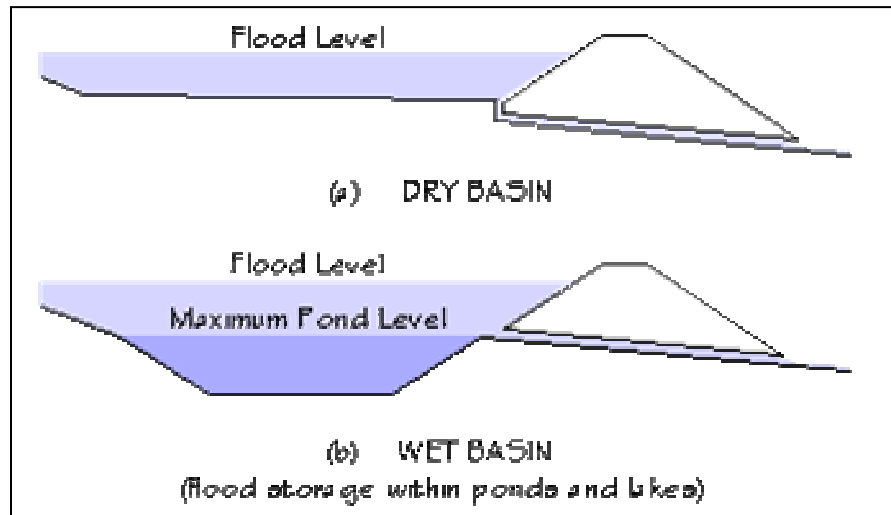
Pengawalan di punca dilakukan di kawasan hulu tadahan ataupun punca kejadian dengan melencongkan air larian ke dalam tanah, meminimumkan kuantiti air larian terkumpul lalu membenarkan penggunaan sistem penghantaran kehilir dengan efisien. Ini boleh dicapai misalnya dengan pembinaan kolam takungan supaya air aliran akibat pembangunan tidak sampai ke sungai dan dapat dikawal dan disimpan dalam kolam takungan sehingga lepas hujan sebelum ia dilepas keluar ke parit dan sungai.

Antara kebaikan kaedah kawalan di punca ialah mengurangkan kejadian banjir kilat pada tahap minimum, merawat air hujan bagi menjamin kualiti air yang baik sebelum memasuki sungai, menstabilkan air bumi proses penyusupan dan mengekalkan flora dan fauna ekosistem sungai (W.M. Hassan W.M.H, 2003). Semua kebaikan ini adalah sejajar dengan matlamat JPS dalam menangani masalah banjir akibat air larian ribut.

2.4.2 Kolam Takungan

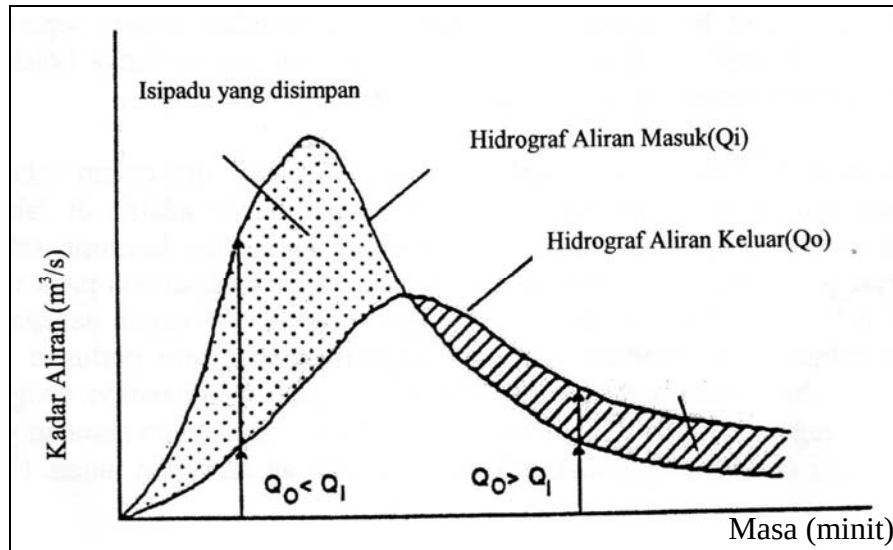
Kolam takungan digunakan secara meluas bagi mengurangkan kadar alir puncak sekaligus mengawal masalah banjir kawasan pembangunan. Kolam penahanan menggunakan struktur pelbagai aras iaitu kombinasi *orifis* atau *weir* untuk jeda aliran rekabentuk contohnya 2 tahun, 10 tahun dan 25 tahun. Fungsinya adalah untuk menghalang peningkatan aliran puncak akibat dari kawasan storan semulajadi (Mc Guen, 1988)

Keberkesanan rekabentuk kolam takungan bergantung kepada lokasi di mana kolam takungan tersebut dibina dan diklasifikasikan berdasarkan kepada lokasi relatif kepada saluran sungai samada saluran terus atau tidak dan dalam keadaan basah atau kering. Operasi kolam takungan dan sistem perparitan seperti *swale* bertujuan untuk menahan air larian buat sementara waktu seraya mengurangkan kadar aliran puncak di hilir saluran. Rajah 2.3 menunjukkan ciri tipikal kolam takungan yang mempunyai struktur aliran keluar dan ban yang menakung air untuk sementara waktu semasa atau selepas kejadian hujan (O' Loughlin, 1994)



Rajah 2.3: Jenis Kolam Takungan Tipikal (O' Loughin, 1994)

Kolam takungan kering atau basah mempunyai ruang untuk menyimpan air dan mengalirkan air tersebut secara berkala melalui struktur aliran keluar. Maka ia akan menghasilkan perubahan aliran seperti dalam Rajah 2.4. Q_1 menunjukkan aliran yang masuk ke dalam takungan dan Q_0 menunjukkan aliran yang meninggalkan takungan semasa hujan. Pengehadan aliran keluar akan membuatkan takungan terisi iaitu $Q_0 < Q_1$. Apabila hujan telah terhenti, Q_1 yang memasuki takungan akan berkurangan manakala aliran keluar tetap berlaku bergantung pada ciri-ciri kolam tersebut. Pada masa ini aliran keluar adalah sama dengan aliran masuk. Selepas itu $Q_0 > Q_1$ dan air yang disimpan akan keluar perlahan-lahan. Kesan ini akan mengurangkan hidrograf air atau mengecilkan aliran puncak air ribut.



Rajah 2.4: Aliran Masuk dan Aliran keluar hidrograf (O' Loughin, 1994)

Namun begitu, penggunaan kolam takungan juga mempunyai kelemahan. Walaupun kolam takungan boleh mengurangkan risiko banjir di hilir tetapi ia tidak berkesan untuk mengurangkan hakisan di hilir saluran disebabkan jangka masa aliran keluar yang lebih panjang. Sekiranya aliran keluar adalah besar ianya menyebabkan hakisan tebing sungai di hilir saluran dan aliran ini menyebabkan tebing sungai di hilir terdedah kepada hakisan dalam jangka masa yang lama (Zakaria et al.2004).

2.4.3 Rekabentuk Kolam Takungan Kering.

Perkara yang perlu ditekankan dalam merekabentuk kolam takungan kering (*dry pond*) ialah kawalan aliran puncak dan perubahan isipadu serta masa pengaliran air. Untuk mencapai pengecilan hidrograf, isipadu storan dan masa tahanan menjadi kriteria utama.(Zakaria et al., 2004). Kebanyakan *dry pond* direkabentuk untuk mengosong dalam masa kurang dari 24 jam selepas berakhirnya peristiwa hujan (Zakaria et al., 2003).

Dry pond boleh menghadkan kerukan di hilir sungai dan kehilangan habitat hidupan akuatik dengan penurunan aliran puncak dan tenaga air ribut yang memasuki sistem penyaliran. Biasanya *dry pond* adalah direkabentuk agar kadar alir keluarnya selari dengan kadar alir pra-pembangunan. Namun begitu ia tidak semestinya sama dengan kehilangan storan semulajadi (Zakaria et al., 2004). Di bawah merupakan perkara dasar yang diambil kira untuk merekabentuk kolam takungan kering dengan merujuk kepada Minnesota Urban Small Site BMP Manual (www.metrocouncil.org/environment/Watershed/BMP/CH3_STDetDryPond.pdf)

2.4.3.1 Luas Saliran

Amnya *Dry pond* hendaklah dibina diatas kawasan storan yang melebihi 10 ekar luas. Luas ini diperlukan selari dengan saiz saluran keluar untuk mengelakkan alur keluar tersekat atau tersumbat. Kawasan penyaliran yang lebih kecil boleh diaplikasi jika kolam kering digunakan untuk tujuan kajian rawatan yang efektif.

2.4.3.2 Isipadu Kolam dan Keperluan Kawalan Kualiti Air

Isipadu yang diperlukan bagi *dry pond* bergantung kepada persekitaran dan polisinya. Biasanya storan yang memadai diperlukan bagi memastikan aliran puncak selepas pembangunan boleh diselarikan dengan aliran puncak sebelum pembangunan untuk 2 tahun hingga 100 tahun kejadian ribut. Di sesetengah keadaan dimana kejadian banjir di hilir kerap berlaku, pengawalan untuk kejadian yang lebih kerap diperlukan. Arahan hendaklah diperolehi dari pihak bertanggungjawab seperti perunding untuk menentukan lokasi *dry pond* yang lebih spesifik.

2.4.3.3 Masa Tahanan

Masa tahanan maksimum 24 jam merupakan matlamat utama dalam memastikan keefektifan *dry pond* melainkan kemungkinan berlaku masalah panyaliran tersekat. Masa tahanan 48 jam diperlukan untuk mengasingkan pepejal terampai. Dalam kes saliran keluar tersekat (kawasan kurang dari 20 ekar) masa tahanan boleh dikurangkan kepada 12 jam.

2.4.3.4 Cerun

Cerun *dry pond* adalah kurang kritikal berbanding *wetpond* disebabkan ianya bukan kolam kekal. Gradien bahagian sisi kolam hendaklah di dalam julat cerun purata 3:1 atau lebih rendah. Cerun yang lebih rendah boleh mengelakkan hakisan tebing semasa hujan lebat, selamat untuk kanak-kanak dan memudahkan kerja memotong rumput.

2.4.3.5 Nisbah Panjang kepada Lebar

Untuk mengekalkan laluan terpanjang air melalui kolam, lokasi masukan perlu ditentukan sejauh mungkin dari lokasi keluarnya. Kolam yang mempunyai nisbah panjang kepada lebar lebih besar 3:1 adalah diterima. Nisbah panjang kepada lebar yang lebih baik ialah 4:1 atau 5:1. Rekabentuk yang diterima untuk meningkatkan nisbah panjang kepada lebar ialah membuat bahu saluran (berming) kepada aliran pada ketinggian tertentu. Teknik ini meningkatkan keupayaan kolam dengan memastikan laluan pintas tidak akan wujud.

2.4.3.6 Kedalaman

Kedalaman maksimum air di dalam kolam hendaklah kurang dari 150 mm. Ini merupakan praktis kepada objektif pemanjangan penahanan untuk kawalan kualiti air, hakisan dan kawalan kuantiti. Jika kolam digunakan untuk tujuan tanaman, tinggi maksimum akan dikurangkan. Walaubagaimanapun, pilihan untuk menanam di *dry pond* adalah terhad disebabkan air di dalam takungan cepat meningkat dan mengganggu pertumbuhan tanaman.

2.4.3.7 Struktur Masukan dan Keluaran

Kolam hendaklah direkabentuk agar aliran turbulent diminimumkan di kawasan rawatan. Meminimumkan aliran turbulent akan mengurangkan risiko bahan deposit yang telah mendap untuk terampai semula. Ia juga membolehkan proses pemendapan berlaku walaupun ketika kolam sedang terisi. Pelepasan tenaga di struktur masukan boleh terjadi dengan adanya penyerak aliran atau *micropool*. Struktur keluaran hendaklah mempunyai *micropool* yang lebih dalam untuk memudahkan pemendapan dan mengelakkan sedimen terampai semula. Ia hendaklah direkabentuk dengan teliti memandangkan ia memainkan peranan yang penting kepada *dry pond*. Struktur keluaran perlu ditempatkan pada benteng kolam untuk memudahkan penyelenggaraan dan nilai estetikanya.

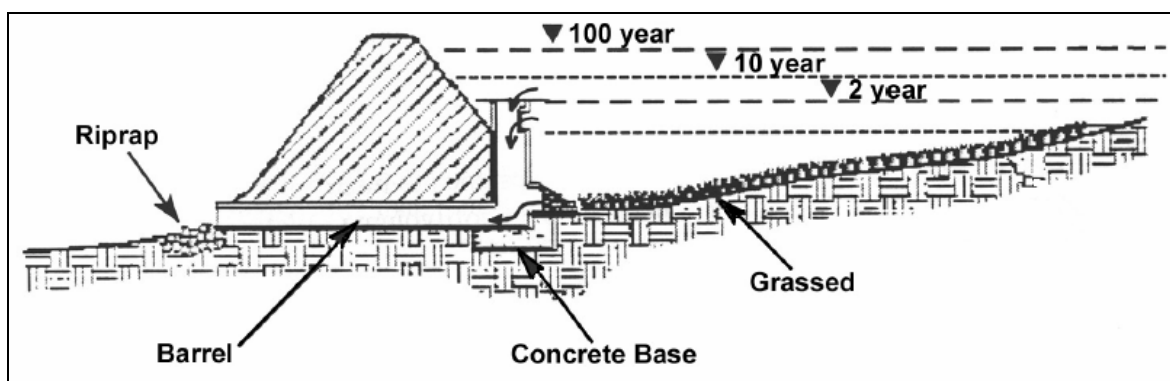
2.4.3.8 Saluran Aliran Rendah

Saluran aliran rendah hendaklah dimasukkan di dalam kolam untuk memastikan kolam benar-benar kering diantara waktu ribut. Ia juga boleh mengelakkan hakisan

pada kolam ketika air ribut memasuki kolam. Lapisan saluran aliran rendah yang telap air atau tidak telap air boleh digunakan . Lapisan yang telap air membolehkan interaksi antara air ribut dengan tanah dan rumput pada kolam yang membolehkan penyerapan bahan pencemar meningkat. Halaju rekabentuk pada laluan telap air hendaklah cukup tinggi untuk mengelakkan pemendapan dan cukup rendah untuk mengelakkan kerukan atau hakisan (www.metrocouncil.org/environment/Watershed/BMP/CH3_STDetDryPond.pdf).

2.4.3.9 Kawalan Kerukan / Hakisan

Pengerukan ialah hakisan yang berlaku pada tengah kolam atau benteng bergantung kepada halaju aliran. Kawalan hakisan adalah penting untuk mengekalkan fungsi *dry pond* terutamanya berhampiran kawasan masukan air ribut. Peralatan peresapan aliran termasuk pelocok kolam, bahu saluran berarah atau struktur pelepasan yang tertentu kerap digunakan. Untuk kejadian tahunan, halaju keluar dari kawasan masukan memasuki kawasan rawatan utama hendaklah kurang dari 1 kaki sesaat (fps). Pengurangan halaju akan mengurangkan hakisan dan paling utama menurunkan campuran biasa yang mengurangkan keefektifan rawatan.



Rajah 2.5: Contoh Rekabentuk Kolam Kering
(www.metrocouncil.org/environment/Watershed/BMP/CH3_STDetDryPond.pdf)

2.4.4 Prosedur Rekabentuk Storan Banjir

Terdapat empat faktor utama yang mempengaruhi saiz kemudahan storan air larian (Faulkner, 1999).

- i. Hubungan kadaralir-hulu (*head-discharge relationship*) yang menunjukkan aliran keluar kolam iaitu gabungan fungsi saiz aliran keluar dan lengkung luas-aras zon simpanan. Biasanya aliran keluar adalah di spesifikkan melawan tempoh ulangan tertentu kejadian ribut iaitu “ sasaran aliran keluar”
- ii. Tempoh maksimum kala ulangan kejadian banjir hendaklah diatur dengan tepat. Kadang – kadang ia direkabentuk untuk peristiwa hujan kala 20-30 tahun tetapi biasanya peristiwa hujan kala ulangan 100 tahun adalah digunakan.
- iii. Tempoh hujan kritikal yang menyebabkan aliran puncak tertinggi dari kawasan pembangunan. Ia merupakan keperluan utama dalam rekabentuk. Ketika aliran puncak tertinggi dari kawasan pembangunan yang terpencil meningkat tanpa pengecualian dalam jangkamasa yang pendek, kejadian keamatan hujan adalah tinggi, tetapi kesan di hilir akan berkurangan.
- iv. Tempoh kritikal hujan ‘reservoir’ adalah suatu tempoh yang mengumpulkan isipadu storan paling besar tanpa melebihi aras maksimum. Ini merupakan kejadian yang berbeza daripada kejadian yang menghasilkan aliran puncak dari tapak. Tanpa had, kejadian ini akan menghasilkan isipadu yang lebih besar dari yang tersimpan untuk mengurangi aliran puncak kawasan pembangunan.

Jadual 2.0: Kriteria storan yang biasa digunakan (Environment Agency Regions, 1999)

Region	Published policy?	Greenfield runoff calculation	Throttle control and discharge curve	Max event to be stored
Thames	Yes	MAFF procedure	Increases in line with FSR RGC	1 in 100 yr
Southern	No	1 in 1 year or 7 l/s ha	Fixed at greenfield rate	1 in 100 yr
South West	Guidance notes	1 in 1 year – various	Fixed at greenfield rate	1 in 100 yr
Welsh	No	Area specific 2 – 6 l/s ha	Variable depending on d.s. risk	Variable depending on risk, or 1 in 100
Midlands	No	1 in 1 year or 4 – 6 l/s ha	Fixed at greenfield rate	1 in 25 with no risk, otherwise 1 in 100
North West	Guidance notes	FSR small catchment	Variable depending on d.s. risk	1 in 100 yr
North East	No	1 in 1 year or 3 – 7 l/s ha	Fixed at greenfield rate	1 in 30 yr – limit of sewer system
Anglian	No	MAFF procedure	Increases in line with greenfield	Variable depending on risk, or 1 in 100

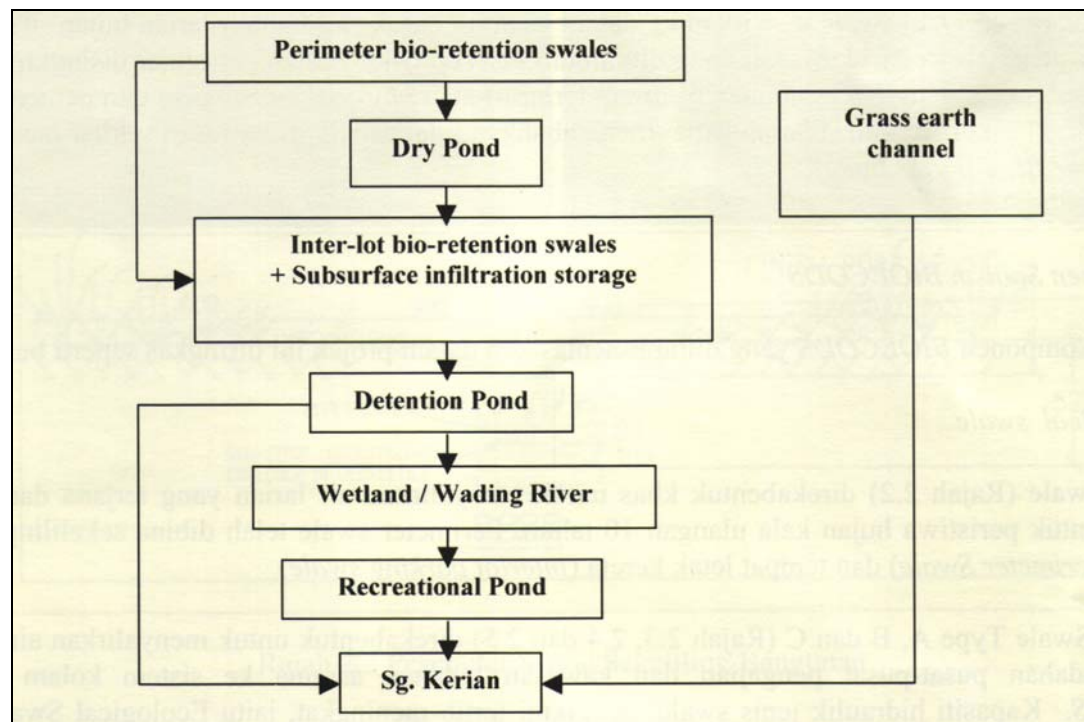
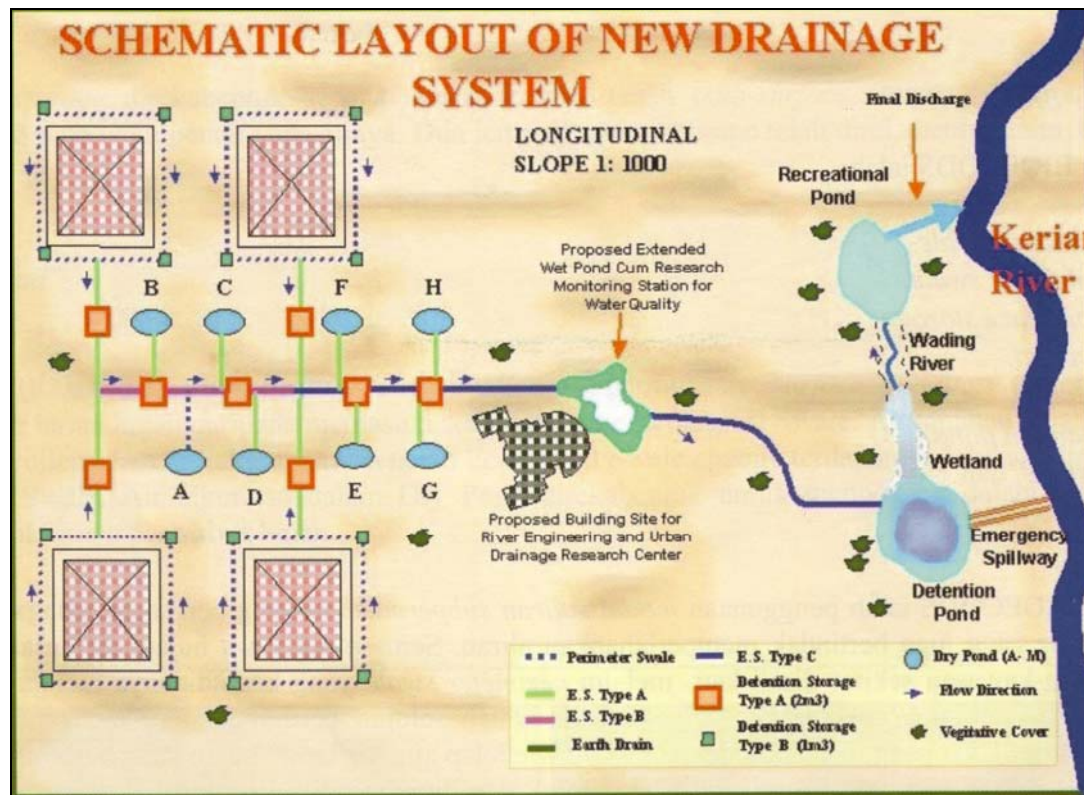
2.5 Kajian Kes 1 : Sistem BIOECODS di Universiti Sains Malaysia

Sistem saliran bio-ekologikal atau *Bio-Ecological Drainage System*(BIOECODS) merupakan alternatif pengurusan air larian hujan yang mesra alam dan mapan untuk memenuhi konsep kawalan kuantiti dan kualiti air larian hujan. BIOECODS merupakan satu projek perintis MSMA yang telah dilaksanakan dalam membangunkan Kampus Kejuruteraan, Universiti Sains Malaysia, Sri Ampangan, Nibong Tebal, Pulau Pinang (Zakaria et al., 2003). Luas kawasan kampus ini ialah 320 ekar dan dibangunkan dari kawasan ladang kelapa sawit yang sekata.

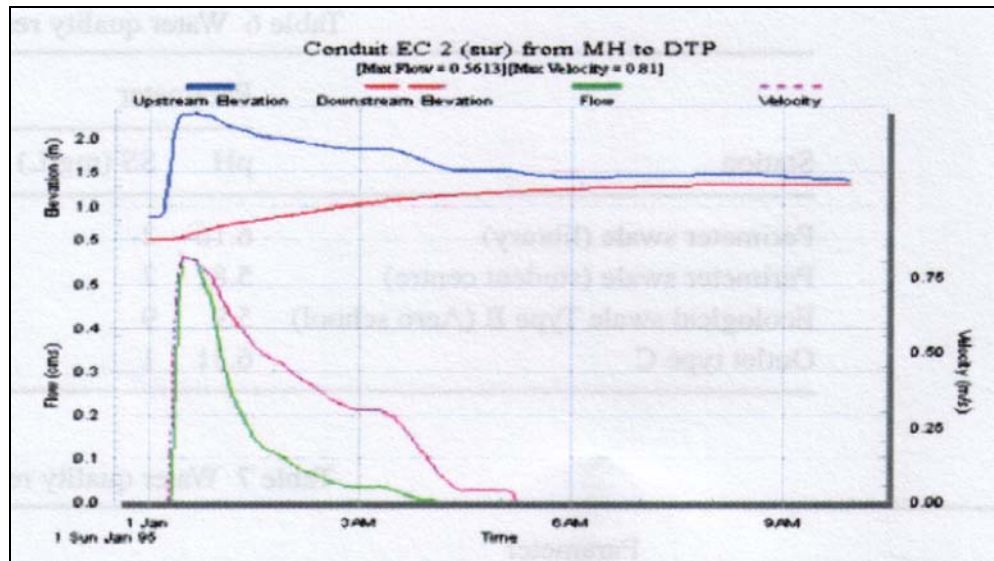
Berdasarkan kepada maklumat keefektifan Amalan Pengurusan Terbaik (BMP) dan model hidrologi, pembangunan Kampus Kejuruteraan USM dianggarkan dapat mengurangkan isipadu air larian hujan sebanyak 65% serta mengurangkan pepejal terampai, nutrien dan beban logam berat sebanyak 85% hingga 100% (Zakaria et al.,2003). Faedah jangka panjang bukan sahaja mengurangkan kos pembinaan pemaju tetapi juga menurunkan kos penyelenggaraan.

Rajah 2.6 di bawah menunjukkan rajah skematik konsep rekabentuk sistem BIOECODS dan turutan aliran yang telah dilaksanakan di Kampus Kejuruteraan USM.

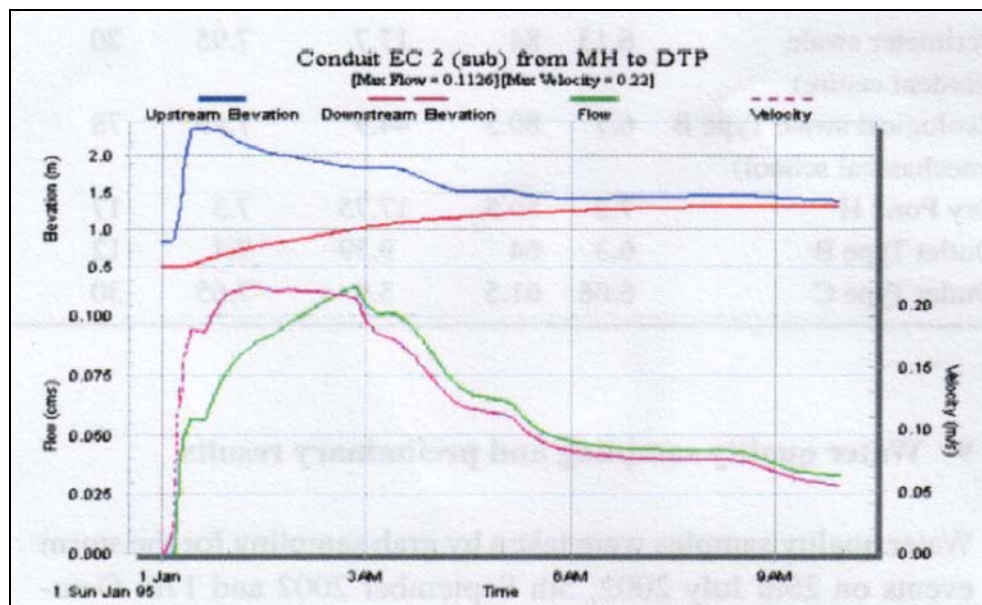
Keputusan yang diperolehi daripada model XP-SWMM membuktikan bahawa sistem BIOECODS adalah merangkumi sistem simpanan, pelambat aliran dan kejuruteraan penyusupan, keupayaan menahan kadar alir banjir dan pengurusan air ribut di punca. Keputusan adalah seperti ditunjukkan didalam Rajah 2.7, Rajah 2.8 dan Rajah 2.9



Rajah 2.6 : Rajah Skematik Menunjukkan Konsep BIOECODS (Zakaria et al., 2003)



Rajah 2.7 Aliran di permukaan swale dari sub takungan asrama pelajar kedalam kolam tahanan. (Zakaria et al., 2003)



Rajah 2.8 : Aliran di dalam modul sub-permukaan dari sub-tadahan asrama pelajar ke dalam kolam tahanan (Zakaria et al., 2003)