



**PUSAT PENGAJIAN KEJURUTERAAN AWAM  
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**PENYELAKUAN SISTEM SALIRAN RIBUT UNTUK KOMPLEKS  
INDUSTRI PERAI MENGGUNAKAN  
STORM WATER MANAGEMENT MODEL (XP-SWMM)**

**MASITA MAHAT  
65314**

**2005**

PENYELAKUAN SISTEM SALIRAN RIBUT UNTUK KOMPLEKS  
INDUSTRI PERAI MENGGUNAKAN  
STORM WATER MANAGEMENT MODEL (XP-SWMM)

Oleh

Masita Mahat

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

APRIL 2005

## **PENGHARGAAN**

Syukur ke hadrat Illahi kerana dengan izinNya, saya dapat menyiapkan projek ini seperti yang dirancang. Terlebih dahulu ribuan terima kasih dan setinggi-tinggi penghargaan saya ucapkan kepada Prof. Madya Dr. Rozi Abdullah selaku penyelia yang telah banyak memberikan tunjuk ajar, galakan dan nasihat sepanjang projek ini dijalankan. Saya juga mengambil kesempatan ini menyampaikan ucapan penghargaan dan terima kasih kepada saya kepada Pegawai Penyelidik Pusat Penyelidikan Kejuruteraan Sungai dan Saliran Bandar (REDAC), Encik Chang Chun Kiat yang sudi meluangkan masa dan turut membantu saya serta memberi tunjuk ajar di dalam menjalankan projek ini. Tidak lupa juga kepada Encik Nazrul Osman dan staf-staf lain yang turut membantu secara langsung atau tidak langsung. Terima kasih kepada pihak Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam kerana telah mengaturkan sesi taklimat dan menguruskan para pelajar. Begitu juga kepada pensyarah-pensyarah yang sudi meluangkan masa memberi taklimat mengenai projek tahun akhir ini. Ucapan terima kasih yang tidak terhingga juga kepada kedua ibubapa, keluarga serta rakan-rakan yang banyak memberikan galakan dan sokongan moral yang tidak putus-putus dan sentiasa menghulurkan bantuan apabila diperlukan. Akhir kata, segala jasa baik semua pihak amat saya hargai dan saya dahului dengan ribuan terima kasih.

## ABSTRAK

Storm Water Management Model (SWMM) diaplikasikan di dalam projek ini bagi membangunkan satu model sistem saliran untuk menganalisis kuantiti air larian ribut bagi Kompleks Industri Perai. Model ini boleh mensimulasikan semua aspek hidrologi perbandaran dan kitaran kualiti termasuklah hujan, salji, air larian permukaan dan subpermukaan, laluan aliran di dalam rangkaian saliran, storan dan rawatan. Storm Water Management Model (SWMM) telah dibangunkan untuk EPA di antara tahun 1969-1971 dan merupakan model komprehensif pertama untuk menganalisis air larian. Dalam projek ini, satu model sistem saliran iaitu sistem saliran paip dibina untuk mengalirkan air larian ribut bagi Kompleks Industri Perai.

Simulasi ini menggunakan hujan rekebabentuk dengan ARI 10 tahun dan hujan rekabentuk dengan ARI 50 tahun. Keputusan bagi simulasi-simulasi tersebut boleh dianalisis dan dibandingkan. Analisis ke atas kuantiti air larian menghasilkan keputusan iaitu kadar alir maksima yang diperolehi ialah sebanyak 24.93 m<sup>3</sup>/s bagi ARI 10 tahun manakala bagi ARI 50 tahun adalah sebanyak 26.98 m<sup>3</sup>/s.

## **ABSTRACT**

The Storm Water Management Model (SWMM) is applied in this project to develop a model for an urban drainage system to analysis runoff quantity for Kompleks Industri Perai. The Storm Water Management Model (SWMM) was developed for the EPA between 1969 and 1971 and was the first comprehensive model for urban runoff analysis. This model can simulate all aspects of the urban hydrologic and water quality cycles, including rainfall, snowmelt, surface and subsurface runoff, flow routing through the drainage network, storage and treatment. In this project, an urban drainage system model is developed to analyse the discharges of urban storm water runoff for Kompleks Industri Perai. The simulations were performed using design rainfall for 10 years ARI and 50 years ARI. The results from both simulations can be analyzed and compared. The analysis of water quantity gives the maximum discharges flows of 24.93 m<sup>3</sup>/s for 10 years ARI and 26.98 m<sup>3</sup>/s for 50 years ARI.

## KANDUNGAN

	MUKA SURAT
PERHARGAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KANDUNGAN	iv
SENARAI RAJAH	vi
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI LAMPIRAN	ix
BAB 1    PENGENALAN	1
1.1    Pernyataan Masalah	1
1.2    Objektif / Matlamat Kajian	2
1.3    Skop Kajian	3
BAB 2    SOROTAN LITERATUR	4
2.1    Pengenalan	4
2.2    Sistem Pembuangan Cepat	4
2.3    Amalan Pengurusan Terbaik (BMPs)	7
2.4    Sistem Saliran Mapan (SUDS)	7
2.5    Kemudahan Sistem Tahanan Air Ribut	9
2.5.1    Storan di Tapak (OSD)	10
2.5.2    Storan Komuniti dan Storan Setempat	13

BAB 3	METODOLOGI KAJIAN	15
	3.1 Pengenalan	15
	3.2 Struktur SWMM	15
	3.2.1 Blok Eksekutif	16
	3.2.2 Blok Perkhidmatan	16
	3.2.3 Blok Pengiraan	16
	3.3 Lokasi Kajian	18
	3.3.1 Guna Tanah	21
	3.3.2 Sistem Saliran	23
BAB 4	ANALISIS KUANTITI AIR LARIAN	24
	4.1 Pengenalan	24
	4.2 Prosedur Analisis Kualiti	25
	4.2.1 Rangkaian Sistem Saliran	25
	4.2.2 Job Control	29
	4.2.3 Global Data	30
	4.2.4 Hujan Rekabentuk	31
	4.2.5 Penyusupan Horton	35
BAB 5	PENYELAKUAN SWMM	38
	5.1 Keputusan Penyelakuan Dengan ARI 10 Tahun dan ARI 50 Tahun.	38
	5.2 Nod – Nod Kritikal.	53
BAB 6	PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN	55
	6.1 Perbincangan	55
	6.2 Kesimpulan	58
RUJUKAN		
LAMPIRAN A	Jadual dan Carta Rekabentuk.	
LAMPIRAN B	Data-data untuk Nod dan Konduit Bagi ARI 10 Tahun.	
LAMPIRAN C	Data-data untuk Nod dan Konduit Bagi ARI 50 Tahun.	

## SENARAI RAJAH

### BAB 1

- 1.1 Gambarajah Kitaran Hidrologi.

### BAB 2

- 2.1 Keseimbangan Air Bagi Kawasan Pra-Pembangunan Dan Selepas Pembangunan
- 2.2 Konsep yang Digunakan untuk Sistem Saliran Mapan
- 2.3 Kemudahan Storan di Tapak (OSD)
- 2.4 Komponen tipikal basin tahanan kering.
- 2.5 Kolam Tahanan Kering dan Kolam Tahanan Basah (JPS2000)

### BAB 3

- 3.1 Storm Water Management Model, susunan aturcara (Huber and Dickinson, 1988)
- 3.2 Kawasan Perindustrian 1, 2 dan 3.
- 3.3 Peta Guna Tanah bagi Kawasan Kajian 1991.
- 3.4 Sistem Saliran Sediada

### BAB 4

- 4.1 Rangkaian Sistem Saliran.
- 4.2 *Dialog Box* untuk Data Kawasan Tadahan.
- 4.3 *Dialog Box* untuk Data Bagi Nod
- 4.4 *Dialog Box* untuk Jenis Kawalan Outlet.

- 4.5 *Dialog Box* untuk Kawalan Outfall.
- 4.6 *Dialog Box* untuk Data Konduit.
- 4.7 *Dialog Box* untuk Profil Konduit.
- 4.8 *Dialog Box* untuk Job Control.
- 4.9 *Dialog Box* untuk Job Control.
- 4.10 *Dialog Box* untuk Global Data.
- 4.11 *Dialog Box* untuk Data Hujan Rekabentuk.
- 4.12 *Dialog Box* untuk Keamatan Hujan Pada Setiap Jeda Masa
- 4.13 Hyetograf untuk ARI 10 Tahun Pada Jeda Masa Setiap 5 Minit
- 4.14 Hyetograf untuk ARI 50 Tahun Pada Jeda Masa Setiap 5 Minit
- 4.15 *Dialog Box* untuk Data Penyusupan
- 4.16 *Dialog Box* untuk Penyusupan Horton.

## BAB 5

- 5.1 Keseluruhan Rangkaian Sistem Saliran Air Ribut.
- 5.2 Hidrograf Air Larian untuk Nod a1 menggunakan ARI 10 Tahun.
- 5.3 Hidrograf Air Larian untuk Nod a1 menggunakan ARI 50 Tahun
- 5.4 Hidrograf Air Larian untuk Nod 1 menggunakan ARI 10 Tahun.
- 5.5 Hidrograf Air Larian untuk Nod 1 menggunakan ARI 50 Tahun.
- 5.6 Hidrograf Air Larian untuk Nod 111 menggunakan ARI 10 Tahun
- 5.7 Hidrograf Air Larian untuk Nod 111 menggunakan ARI 50 Tahun.
- 5.8 Hidrograf Air Larian untuk Nod a26 menggunakan ARI 10 Tahun.
- 5.9 Hidrograf Air Larian untuk Nod a26 menggunakan ARI 50 Tahun.
- 5.10 Hidrograf Air Larian untuk Nod a46 menggunakan ARI 10 Tahun.
- 5.11 Hidrograf Air Larian untuk Nod a46 menggunakan ARI 50 Tahun.

- 5.12 Hidrograf Air Larian untuk Konduit 94 Menggunakan ARI 10 Tahun.
- 5.13 Hidrograf Air Larian untuk Konduit 94 Menggunakan ARI 50 Tahun.
- 5.14 Hidrograf Air Larian untuk Konduit Pam A Menggunakan ARI 10 Tahun.
- 5.15 Hidrograf Air Larian untuk Konduit Pam A Menggunakan ARI 50 Tahun.
- 5.16 Hidrograf Air Larian untuk Konduit Pam B Menggunakan ARI 10 Tahun.
- 5.17 Hidrograf Air Larian untuk Konduit Pam B Menggunakan ARI 10 Tahun.
- 5.18 Hidrograf Air Larian untuk Konduit T4AD Menggunakan ARI 10 Tahun.
- 5.19 Hidrograf Air Larian untuk Konduit T4AD Menggunakan ARI 50 Tahun.

## **SENARAI JADUAL**

### **BAB 3**

- 3.1 Profil Sektor Pembuatan bagi Kompleks Industri Perai( Jun 2000)
- 3.2 Guna Tanah Semasa di BW6 (1991)

### **BAB 4**

- 4.1 Nilai Pekali Persamaan IDF.
- 4.2 Lengkung Kapasiti Penyusutan Horton.
- 4.3 Parameter Storan Kemosotan dan Pekali Manning (n)

### **BAB 5**

- 5.1 Nod-nod kritikal menggunakan simulasi hujan rekabentuk ARI 10 tahun dan ARI 50 tahun.

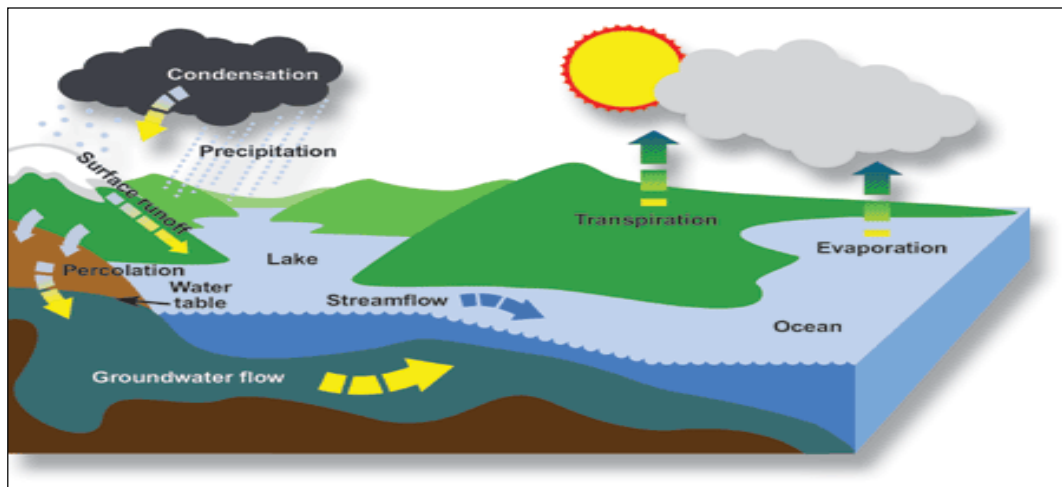
## **SENARAI LAMPIRAN**

- Lampiran A Jadual dan Carta Rekabentuk
- Lampiran B Data-data untuk Nod dan Konduit Bagi ARI 10 Tahun.
- Lampiran C Data-data untuk Nod dan Konduit Bagi ARI 50 Tahun.

## BAB 1 PENGENALAN

### 1.1 Pernyataan Masalah

Pengurusan kuantiti dan kualiti air larian ribut bagi kawasan perbandaran adalah satu tugas rumit di mana ia merupakan isu alam sekitar yang semakin penting. Sistem saliran perlu sesuai dengan pembangunan sedia ada dan akan datang dalam usaha mengawal banjir dan peningkatan pencemar. Air ribut perbandaran adalah curahan hujan dan cairan salji yang menyerap ke dalam tanah atau mengalir ke dalam sistem saliran ribut, sungai dan tasik-tasik. Selain itu ia termasuk juga air larian daripada aktiviti-aktiviti seperti mencuci kereta, menyiram pokok dan pembersihan kolam renang. Kitaran hidrologi seperti dalam Rajah 1.1 menerangkan tentang kitaran berterusan bagi air di antara laut, atmosfera dan daratan. Air dibekalkan ke udara oleh proses pemelupaan dari permukaan air, proses transpirasi oleh tumbuh-tumbuhan dan sebagainya. Air kembali semula ke tanah melalui curahan hujan dan salji. Semasa berada pada fasa daratan bagi kitaran hidrologi, air disimpan oleh tumbuh-tumbuhan, gumpalan salji, permukaan daratan, jasad air dan subpermukaan tanah. Air dipindahkan di antara bahagian-bahagian storan ini melalui air larian permukaan, aliran sungai, penyusupan, aliran air bumi dan proses – proses lain.



Rajah 1.1 : Kitaran Hidrologi (www.ec.gc.ca)

Peningkatan kawasan yang tidak telap di kawasan bandar telah mengurangkan jumlah air yang menyusup ke dalam tanah atau disimpan oleh tumbuh-tumbuhan. Keadaan ini menyebabkan peningkatan kuantiti air larian ribut yang memasuki sistem saliran dan jalan air. Pembangunan juga mengubah masa pelepasan air ribut ke laut atau ke jasad air tertentu. Sistem saliran ribut dibina untuk memindahkan air ribut dari kawasan bandar secepat yang mungkin untuk mengurangkan risiko banjir dan menghalang air daripada bertakung. Pertambahan isipadu air ribut yang memasuki sistem saliran mengakibatkan hakisan kepada sistem saliran dan banjir di hilir.

Pengurangan air larian permukaan adalah sukar bagi kawasan bandar yang mempunyai kepadatan bangunan dan infrastruktur yang tinggi. Walaubagaimana pun, pembangunan baru dan pembangunan semula beberapa kawasan bandar boleh memasukkan langkah-langkah meningkatkan proses penyusupan dan mengurangkan kesan-kesan kurang baik ke atas jalan air seperti menggunakan swale berumput. Masalah kualiti dan kuantiti air ribut perlu dipertimbangkan bersama-sama. Langkah-langkah yang diambil untuk memperbaiki kualiti dan kuantiti air ribut mestilah tidak tersasar dari objektif-objektif keselamatan awam dan perlindungan banjir tempatan. Kenyataannya, langkah-langkah yang direkabentuk untuk memperbaiki pengurusan air ribut selalunya mempunyai kebaikan-kebaikan pengurusan banjir secara semulajadi.

## **1.2 Objektif / Matlamat kajian**

Tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk membangunkan satu model sistem saliran bandar bagi menyelesaikan masalah berkaitan kuantiti air larian ribut akibat daripada peningkatan kawasan tidak telap. Selain itu ia adalah untuk mensimulasikan kuantiti air larian ribut bagi Kompleks Industri Perai menggunakan hujan rekabentuk dengan ARI 10 tahun dan ARI 50 tahun menggunakan Stormwater Management

Model, XP-SWMM. Seterusnya membuat perbandingan nilai kuantiti air larian bagi kedua-dua ARI 10 tahun dan 50 tahun di samping dapat mengenal pasti maklumat-maklumat berkaitan dengan aspek hidraulik dan hidrologi.

### **1.3 Skop kajian**

Kajian dijalankan dengan membangunkan model sistem saliran bandar dan menjalankan analisis kuantiti air larian ribut menggunakan Stormwater Management Model, ( XP-SWMM) bagi Kompleks Industri Perai. Kompleks Industri Perai terletak di Seberang Perai Tengah, Pulau Pinang dan mempunyai keluasan sebanyak 731.14 hektar dan terbahagi kepada empat zon iaitu Kawasan Perindustrian Perai 1, Kawasan Perindustrian Perai 2, Kawasan Perindustrian Perai 3 dan Kawasan Perindustrian Perai 4. Keluasan kawasan tadahan dalam kajian ini adalah sebanyak 399.4 hektar. Kawasan ini merupakan kawasan perindustrian yang sedang pesat membangun dan merupakan zon eksklusif untuk industri ringan, sederhana dan berat. Memandangkan Kompleks Industri Perai merupakan sebuah kawasan yang pesat membangun, kawasan ini menyumbang kepada kuantiti air larian yang tinggi. Analisis kuantiti dijalankan ke atas kawasan kajian di mana pemodelan ini dapat menjanakan banyak maklumat dari aspek hidrologi dan hidraulik.

## **BAB 2 : SOROTAN LITERATUR**

### **2.1 Pengenalan**

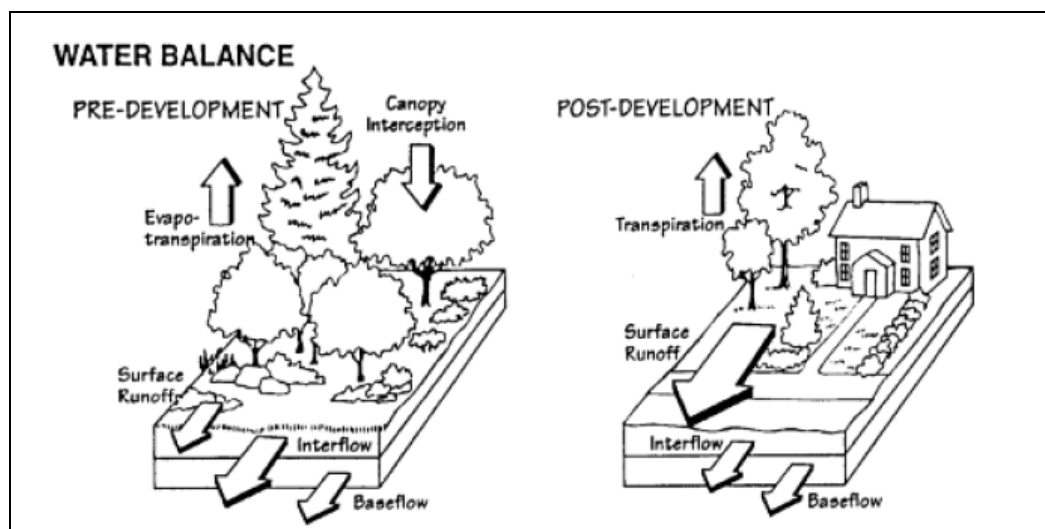
Pengurusan air ribut perbandaran ialah aktiviti yang dilakukan di dalam lingkungan kawasan tadahan untuk menyelesaikan masalah air larian ribut yang sedia ada serta mengelakkan daripada munculnya masalah-masalah baru (Walesh, 1989). Ia melibatkan pembangunan dan pelaksanaan kombinasi langkah-langkah berstruktur dan tidak berstruktur untuk menyesuaikan fungsi storan dan pembawaan bagi sistem air ribut dengan ruang dan keperluan yang berkaitan dengan pertumbuhan populasi di sesuatu bandar. Selain itu ia juga melibatkan pembangunan dan pelaksanaan Amalan Pengurusan Terbaik (BMPs) untuk meningkatkan kualiti air larian ribut perbandaran sebelum dilepaskan ke kawasan penerimaan air.

Perubahan corak aliran semulajadi boleh menimbulkan masalah di sekitar kawasan tadahan. Isu-isu mengenai kualiti air menjadi semakin penting disebabkan pencemar-pencemar dialirkan bersama-sama air larian ke sungai atau ke dalam bumi. Sistem saliran konvensional tidak mampu untuk mengawal kualiti air larian dan mungkin juga menyumbang kepada masalah tersebut. Aspek-aspek keselesaan yang melibatkan sumber air, kemudahan awam dan habitat haiwan sering diabaikan. Ini menunjukkan sistem saliran konvensional mempunyai banyak kelemahan dan tidak sesuai untuk jangkamasa panjang.

### **2.2 Sistem Pembuangan Cepat**

Sebelum pembangunan dijalankan di sesuatu kawasan, lebih banyak air ribut mengalami proses penyusupan berbanding selepas pembangunan dijalankan. Pembangunan mengurangkan permukaan telap dengan menukarkan permukaan berumput kepada permukaan tidak telap seperti jalanraya, tempat meletak kereta,

kawasan berturap dan melalui pemadatan tanah. Keadaan ini mengurangkan penyusupan air ke dalam tanah dan meningkatkan air larian permukaan seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.1. Perubahan kepada corak aliran semulajadi ini iaitu dari segi jumlah kuantiti dan aliran puncak akan menyebabkan masalah kepada sungai-sungai dan banjir di hilir. Peningkatan kadar alir yang tinggi di atas permukaan tanah menyebabkan hakisan, mengurangkan penyusupan, meningkatkan aliran sungai dan mengganggu habitat semulajadi.



**Rajah 2.1: Keseimbangan Air Bagi Kawasan Pra-Pembangunan Dan Selepas Pembangunan ([www.uppervalleyleague.org](http://www.uppervalleyleague.org))**

Kebanyakan sistem saliran sedia ada lebih menumpukan kepada kaedah pembuangan cepat. Kaedah ini hanya menumpu kepada kepentingan mengalirkan air larian dengan cepat untuk mengelakkan masalah banjir di sesuatu kawasan tersebut. Kesan daripada kaedah pembuangan cepat ini menyebabkan kawasan-kawasan di hilir mengalami masalah seperti banjir kilat. Selain itu sungai-sungai dan sistem saliran perlu dibesarkan untuk menampung kadar alir yang meningkat. Kaedah pembuangan cepat ini telah diamalkan sejak 25 tahun yang lalu dan kaedah ini nyata kurang

berkesan untuk menyelesaikan masalah banjir di kawasan bandar disebabkan oleh masalah kos, sosial dan alam sekitar. Kaedah pembuangan cepat ini tidak begitu sesuai digunakan dan perlu ditukarkan kepada kaedah lain yang lebih mesra alam.

Kaedah-kaedah baru yang lebih mesra alam harus diambil untuk menggantikan sistem pembuangan cepat ini. Dalam kaedah ini, masalah air larian perlu diselesaikan di kawasan yang dibangunkan atau dikenali sebagai kawalan pada punca yang merangkumi penggunaan teknik storan menggunakan tangki atau kolam takungan, penyusupan/ penyerapan dalam tanah dan pembersihan. Oleh itu kuantiti dan kualiti air larian ribut dari kawasan pembangunan akan dapat dikekalkan sebagaimana sebelum pembangunan dilaksanakan.

Kebaikan sistem pembuangan cepat :-

- Menyingkirkan air larian dengan cepat dari sesuatu kawasan.
- Kos pengoperasian dan penyelenggaraan yang minima.
- Kurang penggunaan tanah untuk pembinaan.
- Prosedur rekabentuk dan analisis yang diterima pakai.

Keburukan sistem pembuangan cepat :-

- Kawasan-kawasan di hilir mengalami masalah akibat daripada pertambahan kuantiti air dan peningkatan kadar alir puncak dalam masa yang singkat.
- Sistem saliran memerlukan saiz yang besar berikutan peningkatan jumlah aliran kesan dari pembangunan.
- Banjir dan hakisan di hilir.
- Pencemar – pencemar dari kawasan perbandaran dibawa ke kawasan di hilir.

### **2.3 Amalan Pengurusan Terbaik (BMPs)**

Istilah “Best Management Practices” (BMP) dan “Sustainable Urban Drainage Systems” (SUDS) berkait rapat dan saling membawa maksud yang sama. BMP merupakan salah satu aspek SUDS. Dalam konteks sistem saliran, BMP adalah amalan untuk memindahkan pencemar daripada air larian atau menghalang pencemar memasuki air larian. SUDS merupakan alternatif kepada sistem saliran konvensional di kawasan bandar yang mengambilkira kesan-kesan kepada alam sekitar. Struktur BMP direkabentuk untuk menyediakan elemen storan yang digunakan semasa hujan dan selepas hujan, di mana air yang ditahan dilepaskan perlahan-lahan ke anak sungai atau ke sistem kumbahan. Ini adalah sebagai pengecilan aliran atau membenarkan penyusupan berlaku. Selain daripada berfungsi untuk pengecilan aliran, storan dan penyusupan, struktur BMP boleh juga digunakan untuk menuras keluar bahan-bahan pencemar.

### **2.4 Sistem Saliran Mapan (SUDS)**

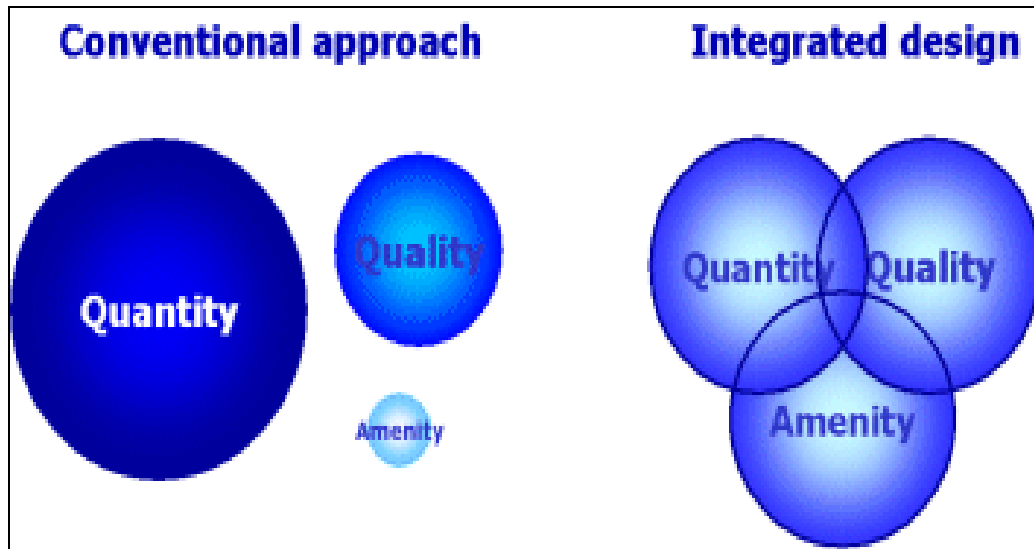
Sistem saliran mapan adalah satu konsep yang mengambilkira faktor-faktor alam sekitar dan sosial jangka panjang dalam membuat pemilihan mengenai sistem saliran. Kebanyakan sistem saliran bandar sedia ada boleh menyebabkan masalah banjir, pencemaran atau kemusnahan kepada alam sekitar. Sistem saliran boleh dibangunkan selari dengan pembangunan mapan dengan menyeimbangkan pelbagai isu yang mempengaruhi rekabentuk. Kaedah-kaedah bagi saliran air permukaan yang mengambilkira kuantiti, kualiti, dan isu keselesaan adalah merujuk kepada sistem saliran mapan (SUDS). Sistem ini lebih baik jika dibandingkan dengan kaedah sistem saliran konvensional kerana :

- Menguruskan kadaralir air larian serta mengurangkan banjir akibat dari akitiviti perbandaran.
- Melindungi dan meningkatkan kualiti air.
- Mengambil kira keperluan alam sekitar dan kehendak masyarakat.
- Menyediakan habitat untuk hidupan liar di sungai- sungai di kawasan bandar.
- Menggalakkan imbuan air bumi semulajadi di mana –mana yang sesuai.
- Menguruskan potensi pencemaran di puncanya masa kini dan masa hadapan.

Merujuk kepada Rajah 2.2 iaitu mengenai konsep yang digunakan untuk Sistem Saliran Mapan, sistem saliran bandar berubah daripada rekabentuk yang konvensional kepada rekabentuk yang mengambil kira pengimbangan ke atas pengurusan kualiti, kawalan banjir dan keselesaan. Sistem saliran mampan terdiri daripada satu atau lebih struktur untuk menguruskan air larian permukaan dan digunakan sejajar dengan pengurusan yang baik di tapak, untuk mencegah banjir dan pencemaran. Terdapat 5 kaedah kawalan yang umum:

- pencegahan
- *filter strips* dan *swale*
- permukaan telap dan *filter drain*
- alat-alat penyusupan
- kolam dan basin

([ciria.org.uk](http://ciria.org.uk))



**Rajah 2.2 : Konsep yang Digunakan untuk Sistem Saliran Mampan. (ciria.org.uk)**

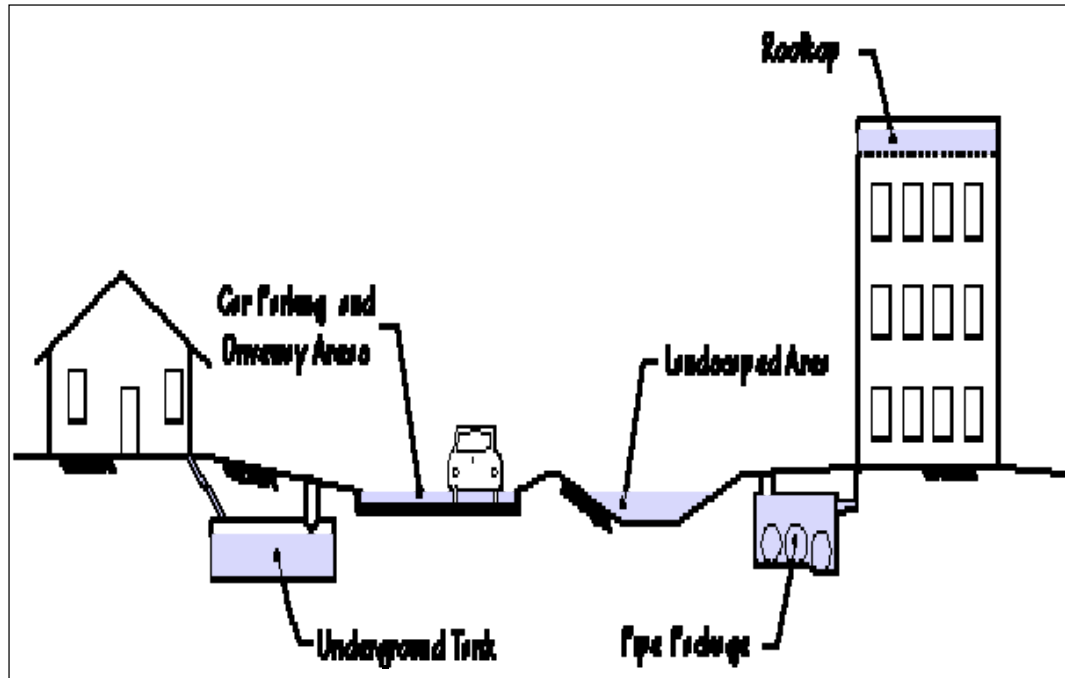
## 2.5 Kemudahan SistemTahanan Air Ribut

Terdapat pelbagai strategi kawalan yang sediada untuk mengurangkan masalah sistem saliran dan kawalan air larian. Sistem kemudahan bagi pengawalan kuantiti air ribut boleh dikelaskan berdasarkan fungsinya iaitu sebagai tahanan atau tahanan penyusupan. Konsep tahanan ini sering digunakan dalam sistem saliran bandar dan fungsi utama sistem ini ialah mengurangkan aliran puncak dengan storan sementara dan mengalirkan air larian ribut melalui satu struktur saluran keluar. Manakala konsep tahanan penyusupan adalah untuk mengurangkan isipadu air larian dan puncak aliran dengan storan sementara air ribut dan dibebaskan melalui proses penyusupan dan penyejatan. Sistem tahanan penyusupan ini membebaskan air ribut secara perlahan-lahan dalam satu tempoh masa dan dikenali juga sebagai *extended detention facilities*. Storán tahanan dan tahanan penyusupan boleh dikelaskan berdasarkan saiz storán dan lokasi ia di tempatkan seperti berikut:-

- Storan di tapak: storan kecil yang dibina di kawasan perumahan, komersial dan industri.
- Storan komuniti: kemudahan storan yang dibina kawasan awam yang lapang dan terbuka atau kombinasi dengan pusat rekreasi dan pusat kemudahan sukan.
- Storan regional: kemudahan storan komuniti yang besar di bina di hujung kawasan tadahan.

### **2.5.1 Storan di Tapak (OSD)**

Konsep simpanan storan di tapak amat digalakkan penggunaannya memandangkan ia dapat mengurangkan air larian. Air larian dihalakan menggunakan parit dan paip bawah tanah ke kawasan yang telap atau kawasan berumput. Storan di tapak (OSD) biasanya boleh di bina samada sebagai storan di atas tanah, storan bawah tanah dan kombinasi kedua-duanya. Sistem storan atas tanah ini lebih mudah di bina dan memerlukan kos pengendalian serta kos baik pulih yang lebih murah jika dibandingkan dengan storan bawah tanah tetapi memerlukan kawasan yang luas untuk pembinaannya. Manakala bagi storan bawah tanah, ia memerlukan ruang yang sedikit serta tidak menimbulkan ketidakselesaan seperti air bertakung tetapi memerlukan kos pembinaan yang lebih mahal berbanding storan di atas tanah. Storan kombinasi adalah storan di mana sebahagian daripada jumlah storan disediakan sebagai storan bawah tanah dan sebahagian lagi sebagai storan atas tanah. Storan jenis ini dapat mengurangkan kekerapan air bertakung serta mengurangkan kedalaman dan keluasan air bertakung. Rajah 2.3 menunjukkan storan di atas dan di bawah tanah (OSD).



**Rajah 2.3 : Kemudahan Storan di Tapak (OSD), (JPS 2000)**

Storan atas tanah boleh dikelaskan kepada empat jenis yang utama iaitu kawasan landskap, kawasan tidak telap seperti tempat meletak kereta seterusnya bumbung rata dan tangki permukaan.

- Kawasan landskap – Kawasan landskap ialah kawasan seperti padang, taman-taman yang boleh bertindak sebagai storan permukaan dan menambahkan nilai estetika sesuatu kawasan .
- Kawasan tidak telap – Kawasan tidak telap seperti tempat meletak kereta dan permukaan berturap yang lain, boleh digunakan sebagai takungan. Kedalaman takungan perlu dihadkan untuk mengelakkan sebarang gangguan atau ketidakselesaan kepada orang ramai.

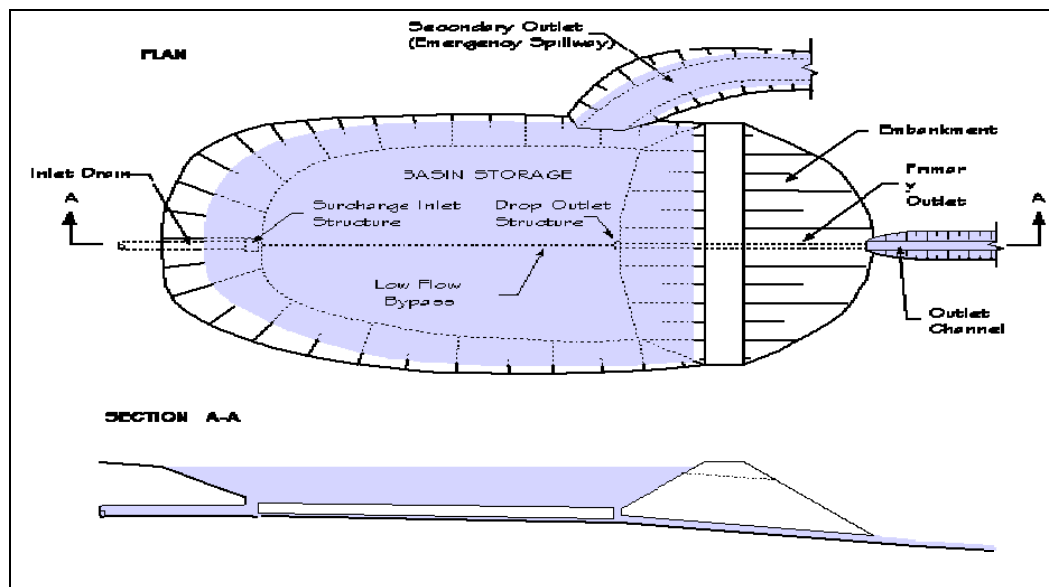
- Bumbung rata – Bumbung rata boleh menakung air ribut. Storan jenis ini jarang digunakan di kawasan perumahan. Ia banyak digunakan pada bangunan komersial dan kawasan perindustrian yang menggunakan bumbung rata.
- Tangki permukaan – Tangki permukaan ialah tangki yang digunakan untuk mengurangkan aliran dari bumbung sesebuah bangunan.

Storan bawah tanah boleh dikelaskan kepada tangki bawah tanah , paip berpakej dan storan kombinasi.

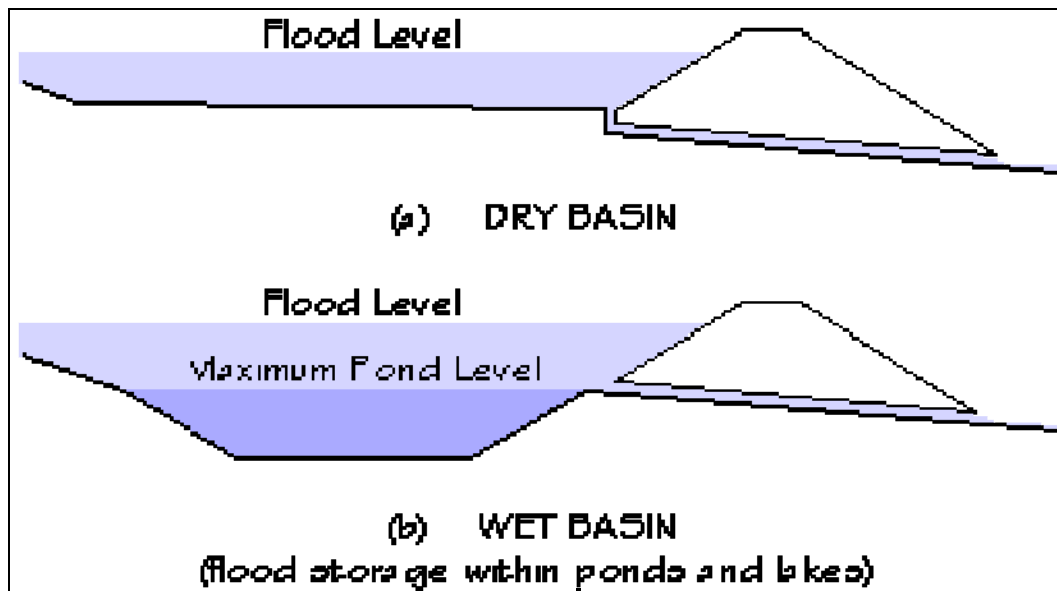
- Tangki bawah tanah –Storan yang biasa bagi tangki bawah tanah adalah berbentuk segiempat tepat atau bulat dan dibina daripada konkrit bertetulang. Kos pembinaan tangki ini lebih mahal jika dibandingkan dengan storan atas tanah.Tangki ini memerlukan sedikit ruang dan ia dapat mengurangkan saiz rezab saliran.
- Paip berpakej – Paip berpakej ialah paip yang terdiri daripada satu atau lebih paip yang ditanam secara selari dan dihubungi oleh satu ruang outlet dan inlet. Susunan paip dibentuk supaya sesuai dengan ruang yang ada. Paip ini lebih murah jika dibandingkan dengan tangki bawah tanah memandangkan terdapat pelbagai paip di pasaran yang boleh digunakan.

## 2.5.2 Storan Komuniti dan Storan Setempat

Storan komuniti adalah kemudahan storan yang dibina di kawasan terbuka atau bersama dengan pusat rekreasi dan pusat kemudahan sukan. Storan ini lebih besar daripada storan di tapak. Storan regional pula adalah storan yang dibina di hujung kawasan tadahan untuk menerima dan mengalirkan air larian. Kemudahan – kemudahan storan komuniti dan setempat yang biasa dibina, termasuklah tambakan melintasi satu sistem saliran, sistem pengangkutan air hujan atau storan basin pada hilir sistem saliran di mana air dari storan basin disalurkan keluar melalui satu saluran keluar tanpa pintu di dasar tambakan. Alur limbah diletakkan berhampiran puncak tambakan untuk pengaliran air hujan tanpa melampaui kapasiti basin. Rajah 2.4 dan Rajah 2.5 menunjukkan komponen tipikal basin tahanan kering dan kolam tahanan kering serta kolam tahanan basah masing-masing.



Rajah 2.4 : Komponen tipikal basin tahanan kering (JPS 2000)



Rajah 2.5 : Kolam Tahanan Kering dan Kolam Tahanan Basah (JPS2000)

## **BAB 3 : METODOLOGI KAJIAN**

### **3.1 Pengenalan**

United States Environmental Protection Agencies (EPA) Storm Water Management Model (SWMM) merupakan model komputer untuk menganalisis masalah kuantiti dan kualiti air larian ribut. Model ini boleh mensimulasikan semua aspek hidrologi perbandaran dan kitaran kualiti termasuklah hujan, salji, air larian permukaan dan subpermukaan, penghalaan laluan aliran di dalam rangkaian saliran, storan dan rawatan. Analisis secara statistik boleh dibuat ke atas data hujan jangka panjang dan ke atas output dari simulasi berterusan. SWMM telah dibangunkan untuk Environmental Protection Agency di antara tahun 1969 hingga 1971 dan merupakan model komprehensif yang pertama untuk analisis air larian perbandaran. SWMM telah dikeluarkan di bawah beberapa versi rasmi (Metcalf and Eddy, Inc. et al., 1971; Huber et al., 1975,198; Huber and Dickinson,1988; Roesner et al., 1984, 1988) . Beberapa versi tambahan EPA SWMM termasuklah MIKE SWMM, XPSWMM, PCSWMM dan PCSWMM GIS.

### **3.2 Struktur SWMM**

SWMM mensimulasikan peristiwa ribut sebenar berdasarkan jumlah hujan (hyetograph), input meteorologikal lain dan sistem berkaitan (pencirian, tadahan, storan/ rawatan) untuk menganggarkan hasil dalam bentuk kuantiti dan kualiti.

Struktur SWMM terdiri daripada 3 blok utama iaitu:-

- 1) Blok Eksekutif
- 2) Blok Perkhidmatan
- 3) Blok Pengiraan

### 3.2.1 Blok Eksekutif

Blok eksekutif bertindak sebagai “traffic director” SWMM dan merupakan blok yang menghubungkan blok perkhidmatan dan blok pengiraan. Ia dianggap sebagai pusat operasi SWMM dan berfungsi mengawal masa simulasi untuk semua blok, mengawal unit logik dan fail-fail serta memeriksa ralat output. Blok ini menyediakan *interface* di antara blok-blok lain yang terlibat, begitu juga program-program luar dan fail-fail data.

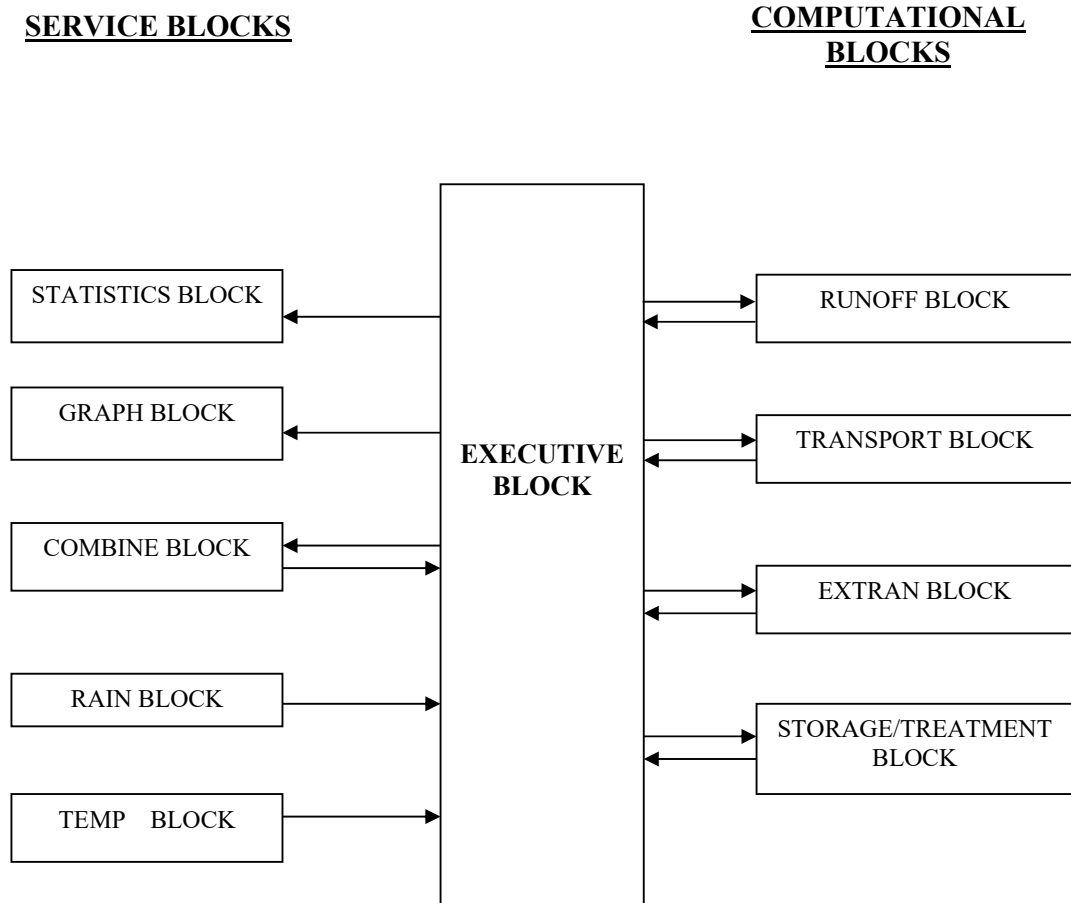
### 3.2.2 Blok Perkhidmatan

Blok perkhidmatan terdiri daripada empat blok iaitu blok *graph*, blok *rain*, blok *statistic* dan blok *temp*. Blok *graph* menyediakan keupayaan terhadap untuk memplotkan hidrograf, pollutograf dan output lain yang sebenar dan yang disimulasi. Blok *rain* pula memproses rekod curahan hujan yang berterusan untuk digunakan oleh blok *runoff*. Seterusnya blok *statistic* melaksanakan operasi statistik ke atas rangkaian peristiwa (peristiwa hujan atau air larian). Pelbagai parameter kualiti dan kuantiti dianalisis di dalam blok ini. Blok ini juga penting untuk analisis kekerapan bagi satu siri masa jangka panjang pada hidrograf dan pollutograf. Blok *temp* berfungsi memproses data-data berkaitan dengan suhu, penyejukan dan halaju angin harian untuk digunakan oleh blok *runoff*.

### 3.2.3 Blok Pengiraan

Blok pengiraan melaksanakan pengiraan hidrologi, hidraulik serta penjanaaan dan pengangkutan pencemar. Blok pengiraan terdiri daripada empat blok iaitu blok *runoff* di mana blok ini menjanakan air larian permukaan dan beban pencemar berdasarkan curahan hujan dan peningkatan pencemar (Huber and Dickinson,1988).

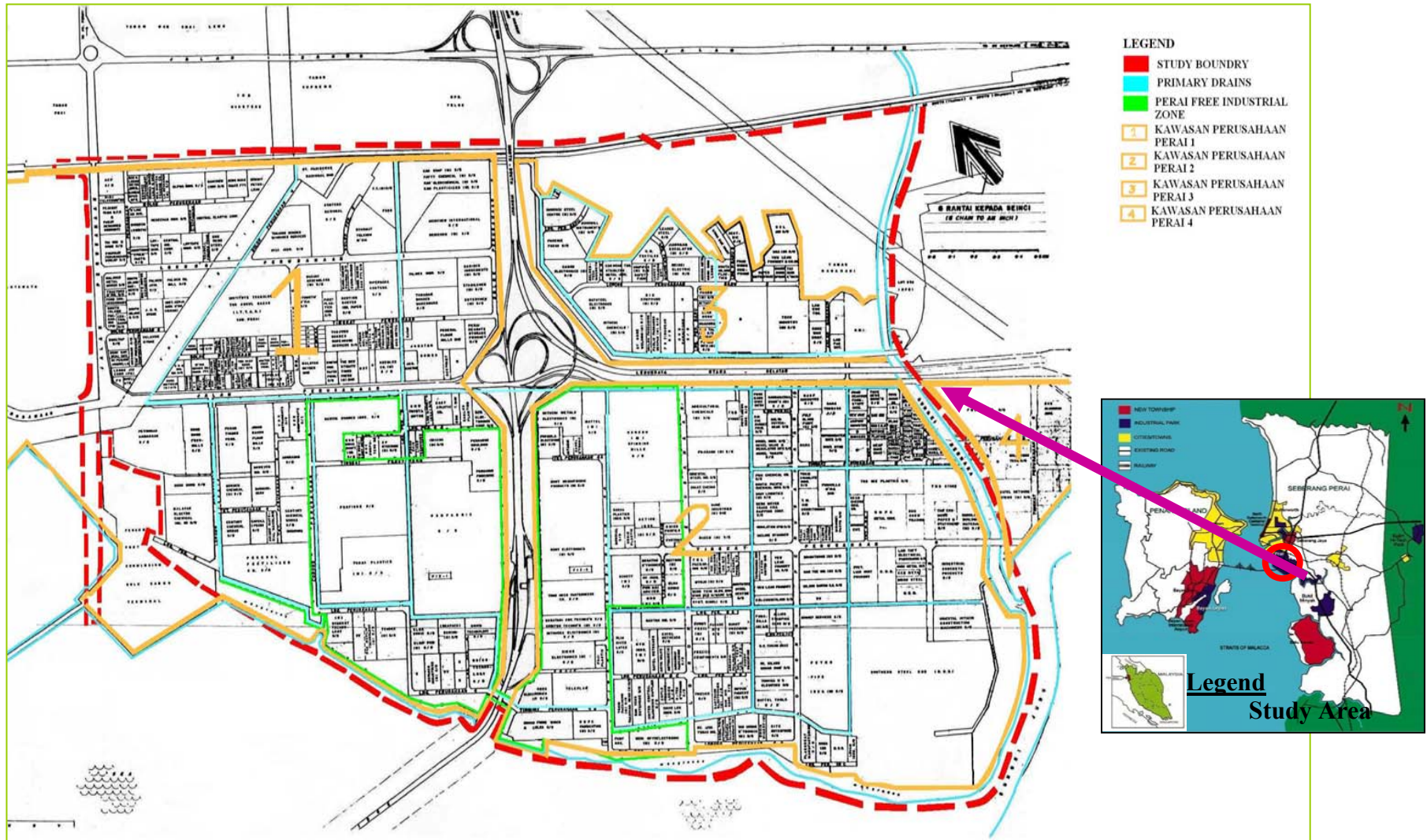
Blok transport iaitu blok yang berfungsi menghubungkan laluan aliran dan beban pencemar melalui sistem kumbahan (Metcalf and Eddy, Inc. et al.,1971; Huber and Dickinson, 1988). Aliran dan beban pencemar dijanakan oleh blok *runoff*. Blok *storage/treatment* berfungsi untuk menghubungkan aliran dan beban pencemar melalui kemudahan simpanan atau rawatan (Nix, 1982; Huber and Dickinson,1988). Seterusnya blok *Extran* meningkatkan keupayaan hidraulik bagi blok *transport* (Roesner et al.,1988). Aliran dan beban pencemar yang memasuki sistem saluran atau kumbahan akan dijanakan oleh blok *runoff*.



**Rajah 3.1: Storm Water Management Model, susunan aturcara (Huber and Dickinson, 1988)**

### **3.3 Lokasi Kajian**

Kompleks Industri Perai terletak di Pulau Pinang meliputi kawasan seluas 731.4 hektar yang dibangunkan oleh Penang Development Corporation (PDC) pada 1971 dan akhirnya menjadi kawasan perindustrian terbesar di Malaysia masa kini. Kompleks Perindustrian Perai terdiri daripada Taman Industri Perai dan Zon Perindustrian Bebas Cukai. Kompleks Industri Perai merupakan zon eksklusif untuk industri ringan, berat dan sederhana serta merupakan kawasan perindustrian terbesar di Malaysia. Kompleks Industri Perai terbahagi kepada empat zon iaitu Kawasan Perindustrian Perai 1, Kawasan Perindustrian Perai 2, Kawasan Perindustrian Perai 3 dan Kawasan Perindustrian Perai 4. Kawasan ini secara keseluruhannya telah dibangunkan sebagai kawasan perindustrian kecuali beberapa kawasan paya bakau. Kajian yang dilakukan meliputi sebahagian Kawasan Perindustrian Perai 1, Keseluruhan Kawasan Perindustrian Perai 2 dan 3 serta beberapa buah kampung dan kawasan perumahan bersebelahan Kawasan Perindustrian Perai 3. Bentuk muka bumi di kawasan kajian ini secara umumnya adalah rata dan rendah di mana aras tanah tidak melebihi 3 meter di atas paras laut. Purata hujan tahunan adalah lebih kurang 2670 mm.



Rajah 3.2 : Kawasan Perindustrian 1,2 dan 3

Pulau pinang merupakan pusat ekonomi yang pesat di Utara Semenanjung Malaysia. Terdapat lebih daripada 318 kilang di kawasan Kompleks Industri Perai ini di antaranya ialah kilang- kilang membuat bahan- bahan logam, elektrik dan elektronik serta bahan kimia. Profil sektor industri pembuatan di tunjukkan dalam Jadual 3.1 di bawah.

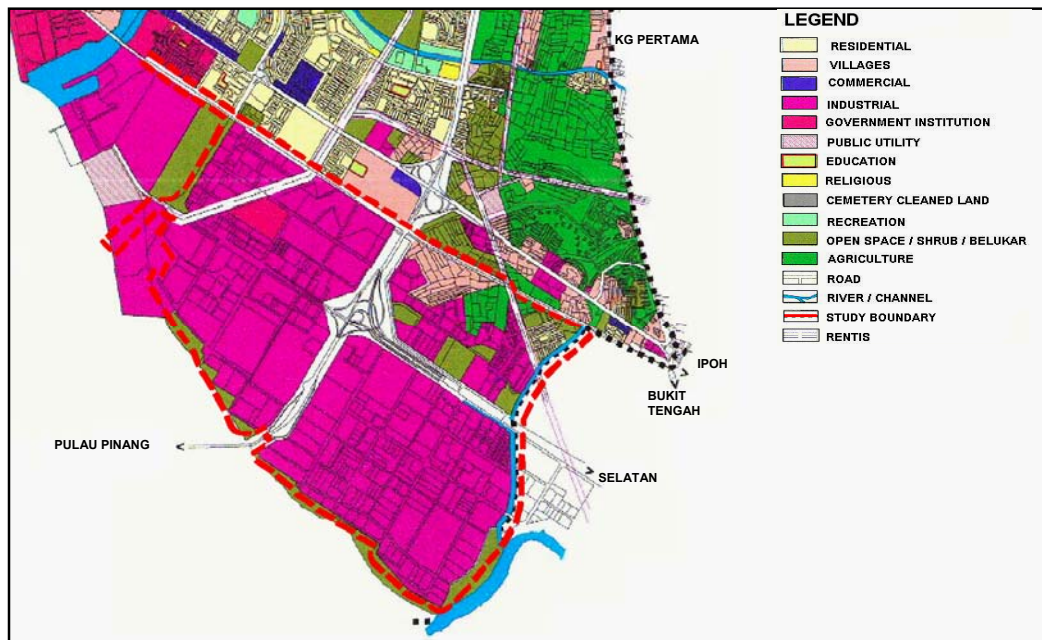
**Jadual 3.1 : Profil Sektor Pembuatan bagi Kompleks Industri Perai( Jun 2000)**

Jenis Industri	Bilangan Kilang
Elektrik/Elektronik	43
Tekstil/Pakaian	10
Besi dan Keluli, Produk Logam Ferus	15
Membuat Produk Logam	63
Pemprosesan Makanan/Mengetin	12
Mesin	10
Produk Mineral Berlogam	7
Pemprosesan Produk Pertanian	8
Makanan Ternakan	4
Bahan Kimia / Baja	36
Produk Berasaskan Getah	11
Plastik / Produk Plastik	29
Produk Berasaskan Kayu	4
Produk Kertas /Kerja-kerja Cetakan	30
Professional, Sainifik, Alat Pengukuran dan Kawalan dan Barangan Optik	2
Alatan Pengangkutan	10
Lain-lain	24
JUMLAH	318

( Punca : Penang Development Corporation )

### 3.3.1 Guna Tanah

Corak guna tanah semasa untuk kawasan kajian ini pada tahun 1991 ditunjukkan di dalam Rajah 3.3 serta Jadual 3.2. Guna tanah di kawasan ini terdiri daripada 85% kawasan dibangunkan, 11% kawasan lapang dan bakau dan 4% kawasan pertanian., perkampungan dan rizab saliran.



Rajah 3.3 : Peta Guna Tanah bagi Kawasan Kajian 1991.

**Jadual 3.2 : Guna Tanah Semasa di BW6 (1991)**

	<b>Gunatanah</b>	<b>Hektar</b>	<b>%</b>
1	Perumahan	9.6	1.24
2	Perkampungan	6.7	0.87
3	Komersial	0.1	0.01
4	Perindustrian	352.1	45.52
5	Institusi Kerajaan	14.0	1.81
6	Kemudahan Awam	18.4	2.37
7	Pendidikan	-	-
8	Keagamaan	0.1	0.001
9	Rekreasi	-	-
10	Belukar/ Kawasan Lapang	86.4	11.17
11	Pertanian	12.0	1.55
12	Jalanraya	241.3	31.19
13	Jalan Keretapi	23.8	3.08
14	Sungai / Saliran	9.1	1.18
	Jumlah	773.6	100

### 3.3.2 Sistem Saliran

Sistem saliran sediaada di kawasan ini terdiri daripada satu siri saliran yang bersambung seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3.4 . Saliran primer membawa air dari saliran sekunder ke laut. Saliran sekunder adalah lebih kecil daripada saliran primer yang membawa air larian dari permukaan berturap seperti jalanraya dan juga kilang-kilang. Saliran sekunder termasuklah saliran di tepi jalanraya . Saliran tersebut tidak hanya direkabentuk untuk mengalirkan air larian ribut, di mana air sisa dari kilang-kilang juga dilepaskan ke saliran primer dan sekunder yang berdekatan.



**Rajah 3.4 : Sistem Saliran Sediada**

## BAB 4 : ANALISIS KUANTITI AIR LARIAN

### 4.1 Pengenalan

Storm Water Management Model (SWMM) merupakan model simulasi kuantiti dan kualiti air yang komprehensif yang dibangunkan terutamanya untuk kawasan bandar. Simulasi bagi peristiwa tunggal dan berterusan boleh dilaksanakan untuk hampir semua komponen hujan, air larian dan kitaran kualiti sesuatu lembangan. Data yang diperlukan bagi simulasi hidrologi di dalam blok *runoff* adalah seperti luas, kawasan tidak telap, kecerunan, kelebaran, storan lekukan dan parameter-parameter penyusupan sama ada Horton atau Green-Ampt. Program ini dipandu oleh hujan dan penyejatan. Data tambahan diperlukan sekiranya cairan salji, saluran subpermukaan dan penyusupan digunakan. Penghalaan aliran boleh dibuat di dalam blok *Runoff*, *Transport* dan *Hydraulic*. Data input termasuklah bentuk dan dimensi bagi saluran tertutup dan saluran terbuka, kecerunan, kekasaran dan aras terbalik dan aras tanah untuk *Hydraulic*. Maklumat tambahan mengenai empangan, orifis, pam dan storan diperlukan sekiranya disimulasi.

Output asas SWMM terdiri daripada hidrograf dan pollutograf (kepekatan melawan masa) pada mana-mana lokasi pada sistem saluran. Kedalaman dan halaju juga tersedia sebagai ringkasan statistik ke atas isipadu, kesinambungan dan parameter-parameter kuantiti yang lain. Output kualiti tambahan termasuklah beban, pengenalpastian punca, kesinambungan dan parameter-parameter lain. Blok Statistik boleh digunakan untuk mengasingkan hidrograf dan pollutograf ke dalam peristiwa ribut dan mengirakan statistik ke atas parameter-parameter seperti isipadu, tempoh, keamatan, beban, kepekatan purata dan kepekatan puncak.