

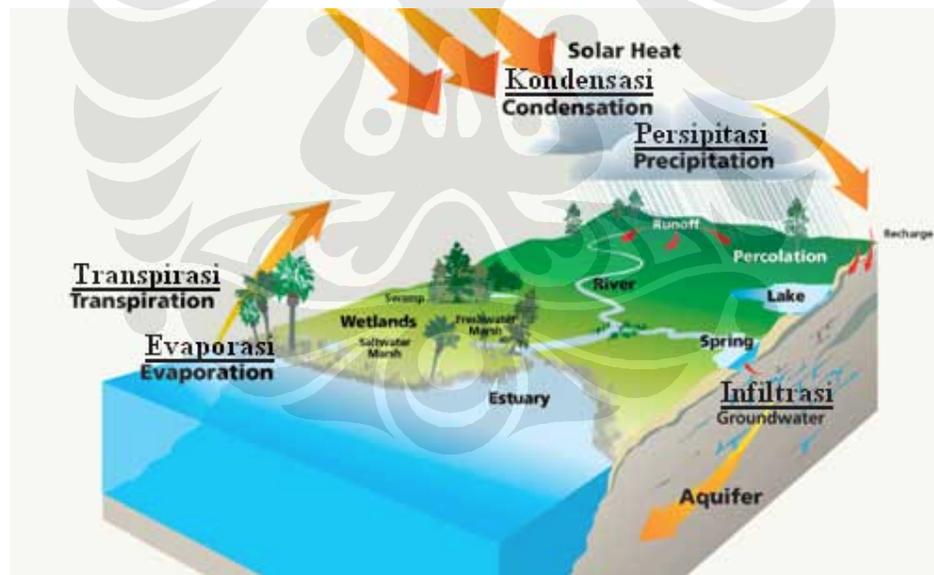
BAB 2

APLIKASI 'WATER BALANCE MODEL' UNTUK MANAJEMEN AIR HUJAN PERKOTAAN (URBAN RAINWATER MANAGEMENT)

2.1 Air Hujan (*Rainwater*) dan Neraca Air (*Water Balance*)

2.1.1 Pengertian Umum Air Hujan (*Rainwater*)

Hujan adalah proses turunnya kumpulan air yang jatuh pada permukaan bumi dari langit melalui proses presipitasi. Presipitasi adalah salah satu komponen dari daur hidrologi, dimana terjadi setelah proses penguapan dari evaporasi, transpirasi, dan evapotranspirasi, lalu pengendapan air di udara melalui kondensasi dan membentuk awan, dan pada akhirnya turun menjadi hujan melalui proses presipitasi. Gambar berikut memperlihatkan komponen-komponen utama dari siklus hidrologi.



Gambar 2.1 Komponen Siklus Hidrologi³

Menurut "Stromwater Planning: A Guidebook for British Columbia" dari Kanada, intensitas hujan dapat dikategorikan menjadi 3 (tiga) kategori

³ [The Water Cycle](http://www.swfwmd.state.fl.us/education/kids/watercycle.php). Diakses 12 Desember 2007, dari *Southwest Florida Water Management District*. <http://www.swfwmd.state.fl.us/education/kids/watercycle.php>

besar, yaitu hujan kecil (*small storms*), hujan besar (*large storms*), dan hujan ekstrim (*extreme storms*). Tingkat intensitas hujan adalah berbeda di berbagai daerah di Bumi. Misalnya di Kanada jika dibandingkan dengan di Indonesia, spektrum hujan berdasarkan jangka waktu 24 jam adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Perbandingan Spektrum Hujan antara di Kanada dan di Indonesia

Spektrum Hujan di Canada		Spektrum Hujan di Indonesia	
Kategori Hujan	Intensitas	Kelas Hujan	Intensitas
Hujan Kecil	< 30 mm	Sangat Ringan	< 5 mm
Hujan Besar	30 – 60 mm	Ringan	5-20 mm
Hujan Ekstrim	> 60 mm	Sedang	21-50 mm
		Lebat	51-100 mm
		Sangat Lebat	> 100 mm

Keterangan:

- Kategori hujan di Kanada adalah berdasarkan pada "*Stromwater Planning: A Guidebook for British Colombia*"
- Kelas hujan di Indonesia adalah berdasarkan pada BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika)

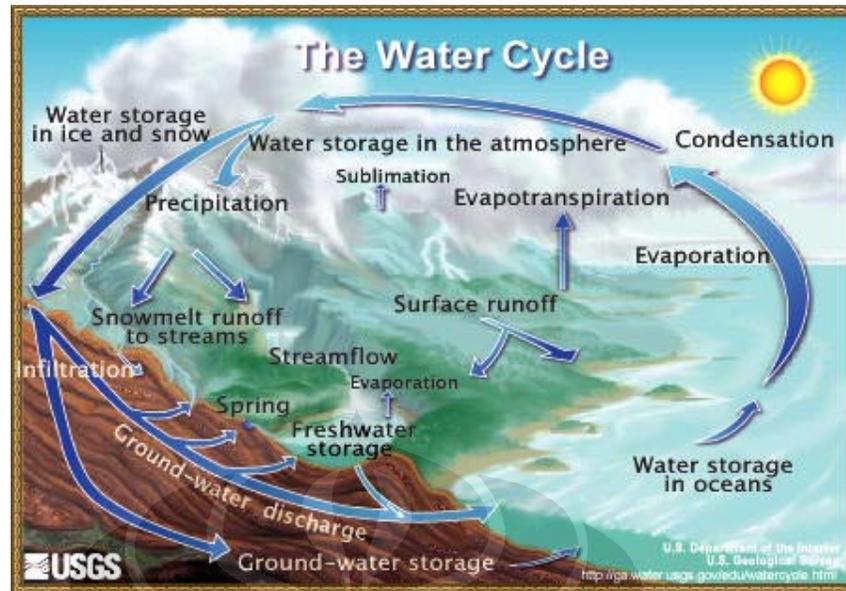
2.1.2 Neraca Air (*Water Balance*) dan Komponen dari Siklus Hidrologi yang Mempengaruhinya

2.1.2.1 Pengertian Umum Siklus Hidrologi dan Neraca Air (*Water Balance*)

Siklus hidrologi, yang juga dikenal sebagai daur hidrologi atau siklus air, merupakan suatu sirkulasi air dalam bumi yang digerakkan oleh sinar matahari melalui berbagai proses yaitu kondensasi, presipitasi, evaporasi, transpirasi, infiltrasi, pergerakan air permukaan (*surface runoff*), dan pergerakan air dibawah tanah (perkolasi), secara terus menerus dari atmosfer yang jatuh ke bumi, lalu kembali lagi ke atmosfer. Sirkulasi ini terjadi dalam hidrosfer bumi yang meliputi atmosfer, daratan, air permukaan, dan air tanah. Pada saat air bergerak dalam siklus ini, air itu akan berubah bentuk dari fase cair, padatan, dan gas, sebagai hujan, salju, hujan batu, hujan es dan salju (*sleet*), hujan

gerimis atau kabut. Berikut akan dijelaskan beberapa proses yang terjadi dalam siklus hidrologi, yaitu:

- Evaporasi / transpirasi: Air yang ada di laut, daratan, sungai, pada tanaman, dll, akan menguap ke atmosfer dan kemudian akan menjadi awan. Pada keadaan jenuh uap air (awan), akan mengumpul menjadi gumpalan kecil air yang selanjutnya akan turun (sebagai presipitasi) dalam bentuk hujan, salju, es, dll.
- Infiltrasi ke dalam tanah: Air bergerak ke dalam tanah melalui celah-celah dan pori-pori tanah dan batuan menuju muka air tanah. Air dapat bergerak akibat aksi kapiler secara vertikal atau horizontal dibawah permukaan tanah hingga air tersebut memasuki kembali sistem air permukaan.
- Air Permukaan (*Surface runoff*): Air yang bergerak diatas permukaan tanah dekat dengan alur utama dan danau. Semakin landai lahan dan semakin sedikit pori-pori tanah, maka limpasan permukaan akan semakin besar. Sungai-sungai akan bergabung satu sama lainnya dan membentuk sungai utama yang membawa seluruh air permukaan disekitar daerah alur sungai menuju laut.



Gambar 2.2 Skema Umum Siklus Hidrologi ⁴

Konsep *water balance* (Neraca Air) merupakan suatu konsep yang dikembangkan dari siklus hidrologi tersebut. Pada proses presipitasi, hujan yang jatuh kepada suatu daerah menyebar pada empat arah; dapat menjadi runoff permukaan (*surface runoff*) yang mengalir diatas permukaan daratan, dapat terinfiltrasi dalam tanah melalui aliran air dibawah permukaan tanah, melakukan perkolasi secara vertikal ke dalam air tanah yang dalam, dan juga dapat melakukan evaporasi kembali dari berbagai permukaan dan transpirasi dari daun-daunan (*evapotranspirasi*). Karena volume total dari air hujan adalah sama dengan keempat komponen tersebut, maka hubungan ini dikenal sebagai 'Neraca Air' atau '*Water Balance*'.

2.1.2.2 Komponen Siklus Hidrologi yang Mempengaruhi Neraca Air (*Water Balance*)

Beberapa komponen dari siklus hidrologi yang mempengaruhi neraca air (*water balance*) adalah sebagai berikut:

⁴ Howard Perlman (November, 2007). *The Water Cycle*. Diakses 12 Desember 2007, dari U.S. Department of the Interior dan U.S. Geological Survey, <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

- Limpasan Permukaan (Surface Runoff)

Limpasan permukaan (*surface runoff*) adalah kejadian pengaliran air di Bumi yang terjadi dari hasil presipitasi di suatu daerah, dimana air itu akan berinteraksi dengan permukaan tanah, dan langsung melimpas menuju badan air terdekat. *Surface runoff* ini dipengaruhi oleh beberapa faktor meteorologi dan karakteristik fisik, sebagai berikut:

- Tipe presipitasi (hujan, salju, dll.)
- Intensitas Hujan
- Jumlah Hujan
- Durasi Hujan
- Distribusi Hujan dalam DAS
- Arah Aliran Hujan
- Kondisi meteorologi dan iklim lainnya yang mempengaruhi evapotranspirasi, seperti suhu, angin, kelembaban relatif, dan musim

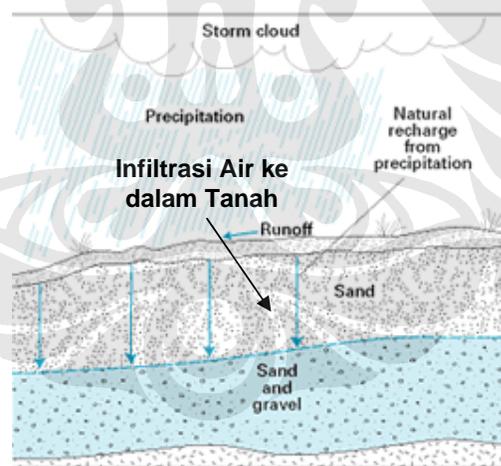
Dalam suatu daerah perkotaan terdapat juga beberapa hal yang mempengaruhi *surface runoff* yaitu karakteristik fisiknya, yang adalah sebagai berikut:

- Tata Guna Lahan
- Vegetasi
- Tipe Tanah,
- Luas DAS
- Bentuk DAS
- Elevasi
- Kemiringan Lahan (Slope)
- Topografi
- Arah Orientasi Aliran
- Pola Jaringan Drainase
- Badan Air Permukaan (Danau, reservoir, dll. dalam DAS), yang dapat menghambat / mengubah runoff untuk terus mengalir ke hilir

- Infiltrasi (Infiltration)

Berbeda dengan *surface runoff*, *infiltrasi* adalah proses dimana air hujan melakukan penetrasi dari permukaan daratan kepada tanah untuk dapat meresap dan mengalir dibawah permukaan tanah menjadi *subsurface water* dan *groundwater*. Yang sama dari *surface runoff* dan *infiltrasi* adalah air yang mengalir ini akan selalu mengalir menuju badan air terdekat. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat infiltrasi, seperti:

- Presipitasi
- Kondisi permukaan tanah dan vegetasi yang melapisinya
- Properti tanah (seperti porositas dan konduktivitas hidrolik)
- Kandungan kelembaban tanah (*soil moisture content*),
- Kemiringan Lahan
- Proses evapotranspirasi

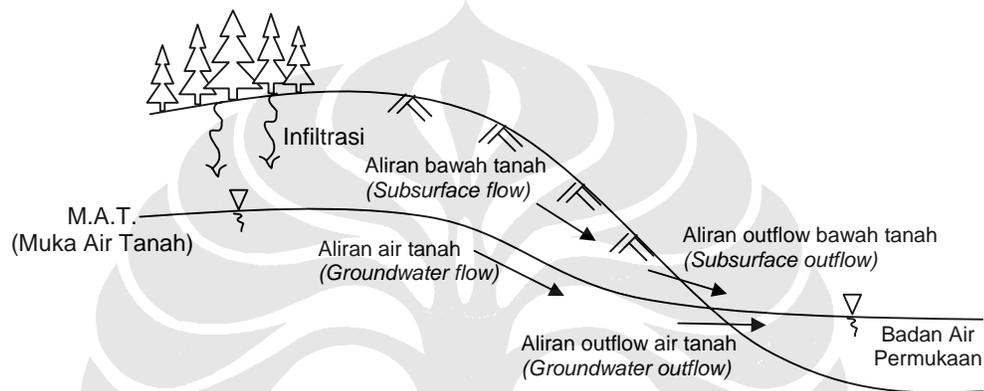


Gambar 2.3 Infiltrasi Air ke Dalam Tanah ⁵

⁵ Howard Perlman (Agustus, 2007). *The Water Cycle: Infiltration*. Diakses 12 Desember 2007 dari U.S. Department of the Interior dan U.S. Geological Survey. <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleinfiltration.html>

- Perkolasi (Percolation)

Perkolasi (*percolation*) adalah proses pergerakan dan filtrasi air di dalam tanah melalui materi-materi porous. Di dalam tanah terdapat dua macam tipe proses pergerakan air, yaitu *subsurface water* (air di bawah permukaan tanah) dan *groundwater* (air tanah) dimana terletak muka air tanah (M.A.T.). Gambar berikut menggambarkan aliran-aliran *subsurface water* dan *groundwater*, sebagai berikut:



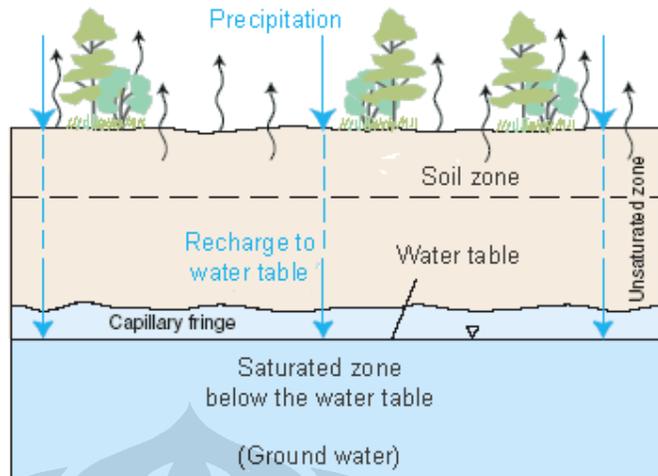
Gambar 2.4 Skema Aliran Air di Bawah Permukaan Tanah

Untuk lebih jelasnya, proses *subsurface water* dan *groundwater*, akan dijelaskan sebagai berikut:

- ***Subsurface Water***

Subsurface water dan *groundwater* sama-sama adalah aliran air di bawah permukaan tanah. Bedanya adalah *subsurface water* mengalir di dalam tanah tak-jenuh dan *groundwater* mengalir di tanah yang jenuh.

Subsurface water adalah aliran air di bawah permukaan tanah yang mengalir didalam daerah tanah tak-jenuh (*unsaturated zone*), dimana media porous di dalam tanah masih mengandung udara di dalam sela-sela (*void*)-nya. Aliran ini selalu menuju suatu badan air. Dapat dilihat skema alirannya sebagai berikut:

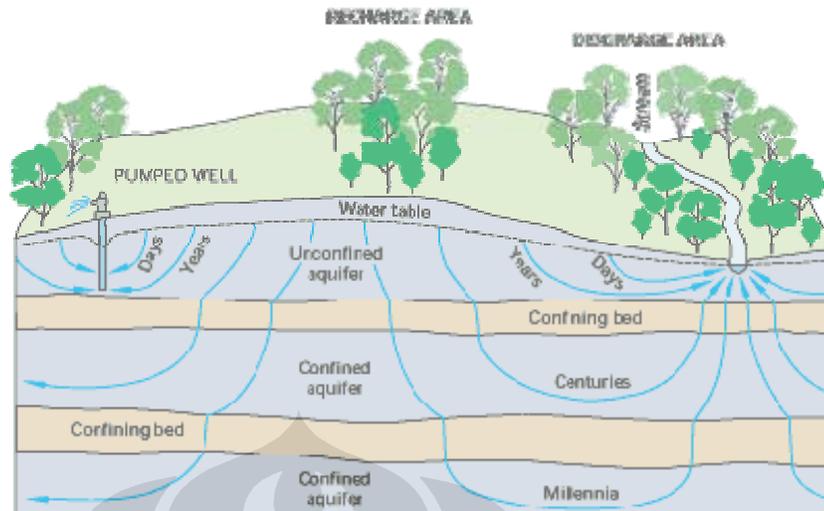


Gambar 2.5 Skema Lintasan Air Di Bawah Permukaan Tanah
(Subsurface Water)⁶

- **Groundwater**

Groundwater adalah air tanah yang mengalir pada tanah yang jenuh, dimana seluruh media poros di dalam tanah sudah terisi air. Aliran ini mengalir pada berbagai *flow path* (lintasan alir) pada variasi panjang dari suatu area *recharge* menuju suatu area *discharge*. Lintasan alir pada air tanah sangat bervariasi pada panjang, kedalaman, dan waktu pindah (*traveltime*) dari titik-titik *recharge* menuju kepada titik-titik *discharge* dalam sistem air tanah tersebut. Dapat dilihat gambar skema lintasan aliran *groundwater* (air tanah), sebagai berikut:

⁶ [Op Cit](#)



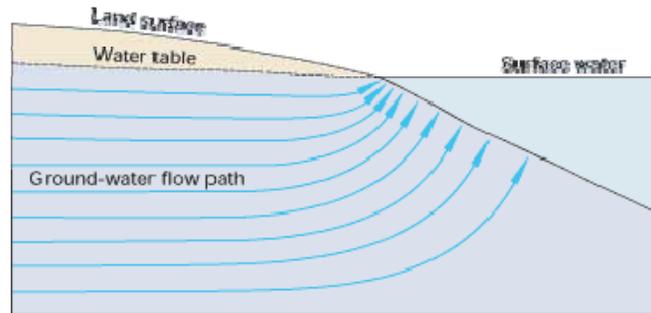
Gambar 2.6 Skema Lintasan Air Tanah (Groundwater)⁷

Adapun berbagai proses aliran air dibawah tanah dan interaksinya dengan badan air permukaan, seperti terjadinya rembesan air tanah, terjadinya mata air dari hasil rembesan tanah, terjadinya interaksi antara air tanah dengan alur air permukaan (*stream*), dan interaksi antara air tanah dengan danau, seperti berikut:

- o Rembesan Air Tanah

Kuantitas *discharge* adalah sama pada setiap dua garis alir. Oleh karena itu, lebih dekatnya garis alir airnya, maka *discharge* yang terjadi adalah lebih besar per satuan luas. Gambar berikut menggambarkan kondisi ini.

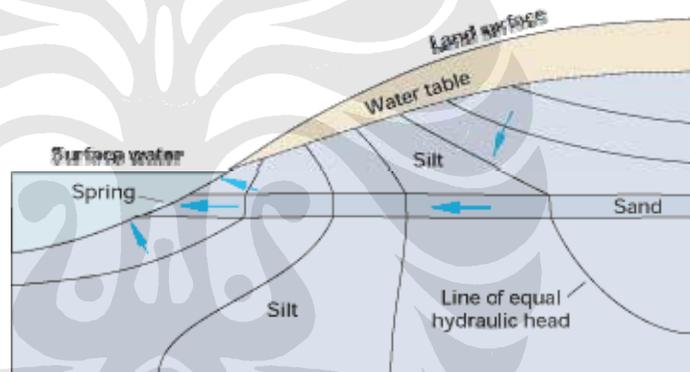
⁷ USGS Publishing Network (September, 2005). *Natural Processes of Ground-water and Surface-Water Interaction: The Hydrologic Cycle and Interactions of Ground Water and Surface Water*. Diakses Diakses 12 Desember 2007, dari U.S. Department of the Interior dan U.S. Geological Survey. http://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/htdocs/natural_processes_of_ground.htm



Gambar 2.7 Rembesan Air Tanah kepada Badan Air Permukaan (*Surface Water*)⁸

o Mata Air Hasil Rembesan Air

Mata air dapat terjadi dari aliran air tanah melalui sedimen-sedimen tanah dengan tingkatan permeabilitas tinggi.



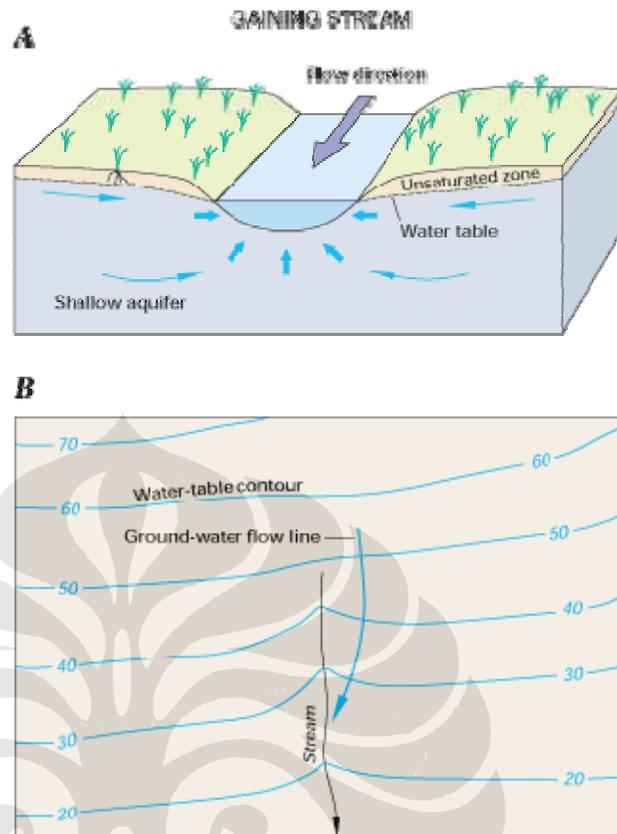
Gambar 2.8 Mata Air Hasil Rembesan Air⁹

o Interaksi antara Air Tanah dengan Alur Air Permukaan (*Stream*)

Suatu alur air permukaan yang dapat menerima air dari sistem air tanah (A) disebut *gaining stream* (alur resapan), dimana alur air permukaan tersebut dapat meresap (menerima) air jika muka tanah berawal pada elevasi yang lebih tinggi dari pada aliran air permukaan dilihat dari kontur tanah tersebut (B).

⁸ Op Cit

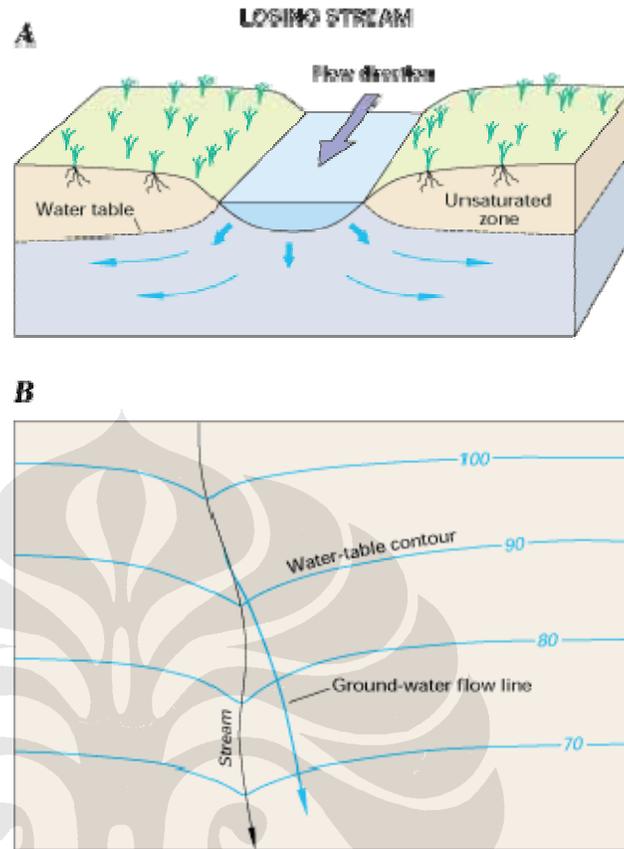
⁹ Op Cit



Gambar 2.9 *Gaining Stream* (Alur Resapan) ¹⁰

Sebaliknya, *losing stream* (alur rembesan) akan merembeskan (mengalirkan) air pada sistem air tanah (Gambar A) jika elevasi muka tanah lebih rendah dari alur air yang mengalir di daerah tersebut, tergantung dari kontur tanah yang ada (Gambar B).

¹⁰ Op Cit

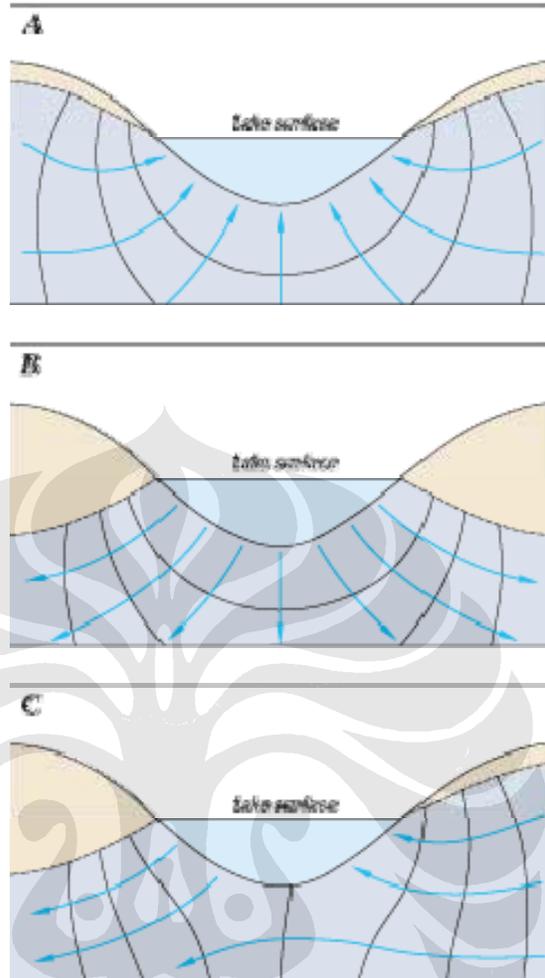


Gambar 2.10 Losing Stream (Alur Rembesan) ¹¹

o Interaksi antara Air Tanah dengan Danau

Danau dapat berinteraksi dengan air tanah dengan tiga cara dasar, yaitu (1) danau dapat menerima air dari seluruh permukaan air tanah (Gambar A), (2) dapat menghilangkan air kepada air tanah melalui seluruh permukaan air tanah (Gambar B), (3) dan dapat juga mengalami keduanya di berbagai titik pada danau (Gambar C).

¹¹ Op Cit



Gambar 2.11 Interaksi antara Air Tanah dengan Danau ¹²

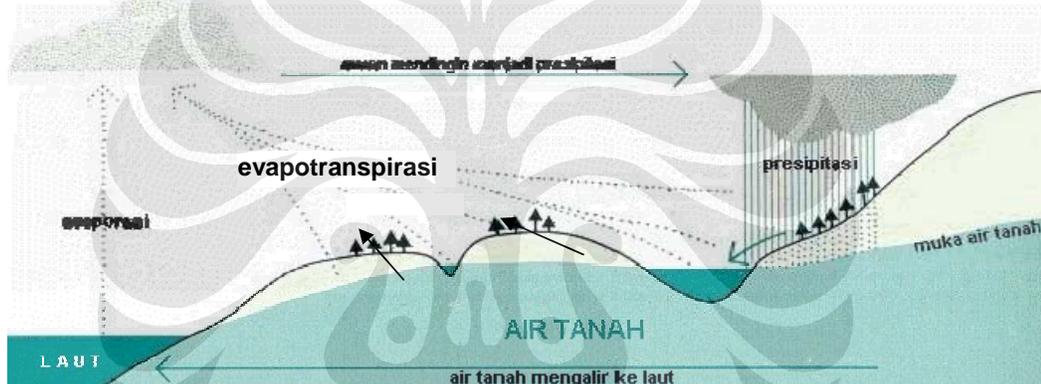
- Evapotranspirasi (*Evapotranspiration*)

Evapotranspirasi (*evapotranspiration*) merupakan proses gabungan antara proses evaporasi (*evaporation*) dan proses transpirasi (*transpiration*). Evaporasi (*evaporation*) adalah proses berubahnya fase air dari cair menjadi uap dalam siklus hidrologi, yang juga dikenal sebagai proses penguapan. Biasanya proses ini terjadi pada badan air, dan lain sebagainya. Proses evaporasi ini merupakan proses primer yang menggerakkan air dari fase cair untuk kembali ke dalam siklus air menjadi uap air atmosfer. Sedangkan, transpirasi (*transpiration*) adalah proses evaporasi

¹² Op Cit

yang terjadi pada tumbuh-tumbuhan. Uap air juga dikeluarkan dari daun-daun tanaman. Setiap hari tanaman yang tumbuh secara aktif melepaskan uap air 5 sampai 10 kali sebanyak air yang dapat ditahan¹³. Oleh karena itu, evapotranspirasi (*evapotranspiration*) adalah proses penguapan gabungan (total) yang terjadi di dalam suatu tempat.

Air yang ada di laut, di daratan, di sungai, di tanaman, dan sebagainya, akan menguap ke atmosfer dan kemudian terkondensasi dan akan menjadi awan. Pada keadaan jenuh uap air, awan itu akan menjadi titik-titik air yang selanjutnya akan turun menjadi presipitasi dalam bentuk hujan, salju, atau es.



Gambar 2.12 Proses Terjadinya Evapotranspirasi dalam Siklus Hidrologi ¹⁴

2.1.3 Fenomena Siklus Hidrologi Perkotaan (*Urban Hydrologic Water Cycle*)

2.1.3.1 Siklus Hidrologi Sebelum Urbanisasi

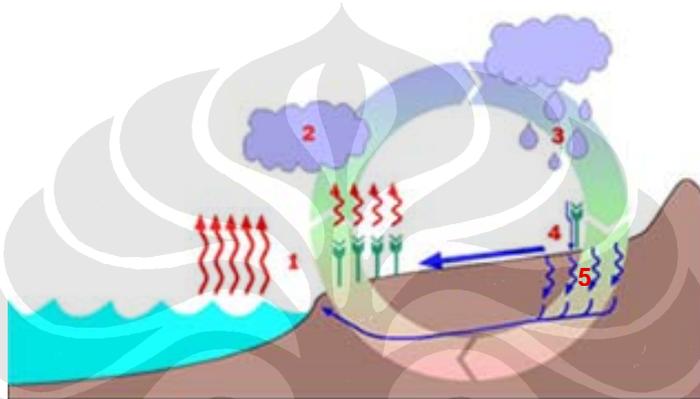
Siklus hidrologi menjelaskan mengenai pergerakan dan pertukaran air dalam semua fase (gas, cair, padat) di berbagai lokasi antara *subsurface* (di bawah permukaan tanah), *land* (di atas permukaan tanah), *ocean* (air di samudera), dan *atmospheric water* (air yang terdapat pada atmosfer). Siklus hidrologi ini beroperasi secara global dan mencakup berbagai 'sub-siklus' yang bergerak dalam

¹³ Lablink, (Juni, 2001). *Air Transpirasi*. Diakses 12 Desember 2007, dari Lablink. <http://www.lablink.or.id/Hidro/Siklus/air-transpir.htm>

¹⁴ Lablink, (Maret, 2006). *Air Bawah Tanah*. Diakses 12 Desember 2007, dari Lablink. <http://www.lablink.or.id/Env/Hidro/BawahTanah/air-bwhtanah.htm>

berbagai skala geografis yang berbeda. Berbagai 'sub-siklus' ini beroperasi pada skala benua, daerah aliran sungai (DAS) yang besar, dan dalam skala lokal (anak sungai orde-kecil). Urbanisasi dapat mengubah siklus hidrologi secara signifikan. Permukaan-permukaan kedap air yang bertambah dalam suatu daerah aliran sungai (*watershed*) akan mempengaruhi volume air yang tersedia dan juga tingkat perpindahan air dalam daerah tersebut.

Siklus hidrologi secara umum tergambar sebagai berikut:



Gambar 2.13 Siklus Hidrologi Secara Umum ¹⁵

Unsur-unsur dalam siklus hidrologi:

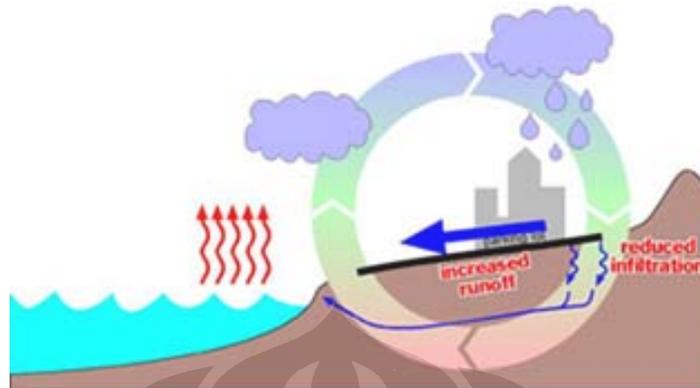
1. Evapotranspirasi
2. Kondensasi
3. Presipitasi
4. Limpasan (*Runoff*)
5. Infiltrasi

2.1.3.2 Siklus Hidrologi Sesudah Urbanisasi

Siklus hidrologi akan berubah secara drastis setelah terbangun lahan parkir dan berbagai permukaan kedap air yang lainnya. Karena permukaan-permukaan yang terbangun ini akan memperlambat infiltrasi, maka akan terjadi lebih banyak limpasan (*runoff*), yang

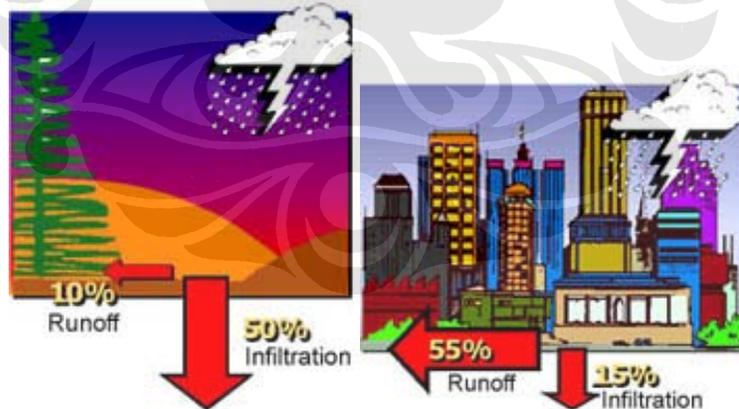
¹⁵ CGIS at Towson University. *Landscape Characterization / Impervious Surfaces / What are the effects? / Water quantity*. Diakses 12 Desember 2007. http://chesapeake.towson.edu/landscape/impervious/all_quantity_impacts.asp

berarti polutan-polutan akan terbang ke dalam sungai, dan lebih banyak erosi akan terjadi.



Gambar 2.14 Siklus Hidrologi Setelah Urbanisasi ¹⁶

Dengan bertambahnya permukaan-permukaan kedap air pada suatu daerah perkotaan, maka lebih banyak limpasan permukaan (*surface runoff*) dari air hujan (*stormwater*) yang akan terjadi dengan debit puncak aliran sungai yang lebih besar. Selain itu juga akan terjadi kelembaban tanah dan pengisian kembali air tanah (*groundwater recharge*) yang berkurang, dan juga berkurangnya evaporasi embun (*moisture evaporation*) dari daerah perkotaan.



Gambar 2.15 Pengaruhnya Pembangunan Pada Siklus Hidrologi ¹⁷

¹⁶ Op Cit

¹⁷ Op Cit

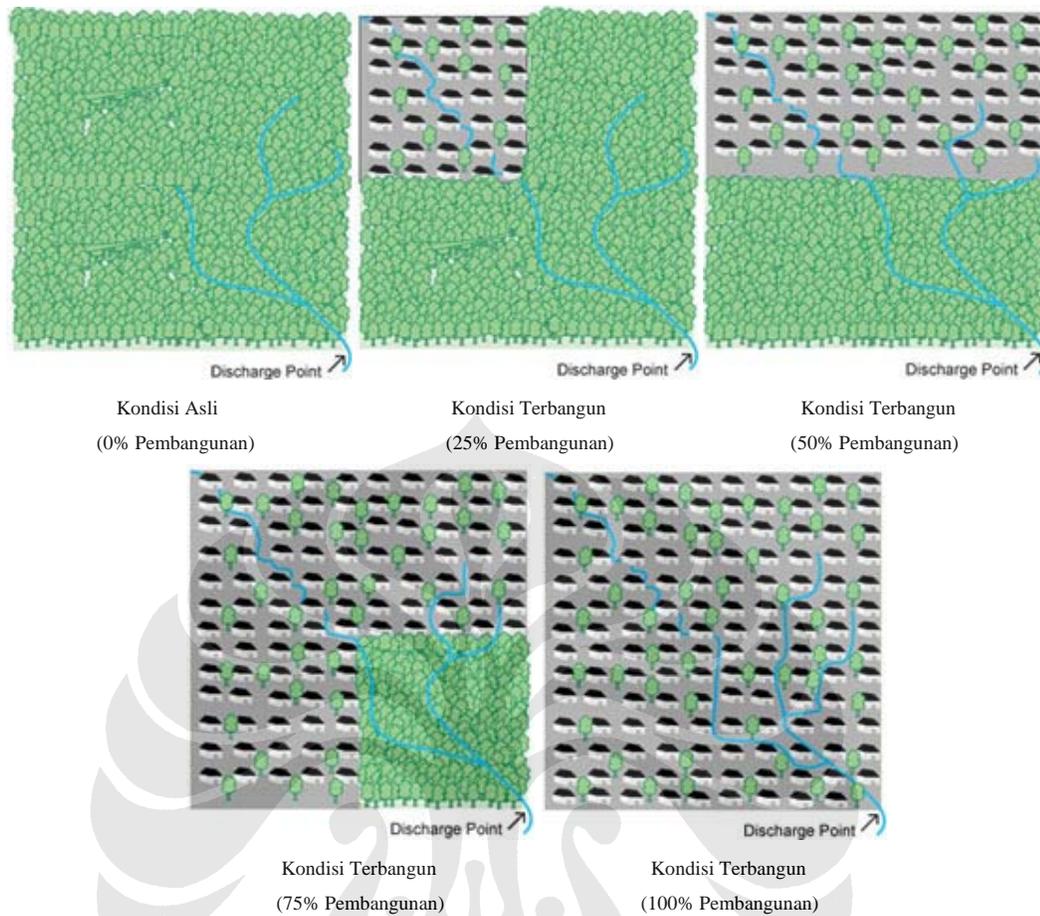
Gambar 2.15 yang kiri menggambarkan kondisi suatu daerah sebelum terjadinya pembangunan dimana infiltrasi yang akan terjadi dapat mencapai 50% dengan tingkat limpasan yang hanya 10%. Setelah terjadinya pembangunan, maka seperti yang tergambar pada Gambar 2.15 kanan, dimana tingkat infiltrasi akan berkurang hingga 15%, dengan tingkat limpasan yang akan meningkat sebesar 55%.

Perubahan lainnya pada siklus hidrologi lokal adalah berkurangnya tingkat evapotranspirasi pada daerah lokal tersebut. Hal ini disebabkan oleh hilangnya vegetasi dan permukaan-permukaan yang dapat merembeskan air dan penggantian permukaan ini dengan permukaan-permukaan kedap air yang dapat mengalirkan air secara cepat dan dapat menyimpan air dengan jumlah yang sedikit.

Permukaan-permukaan yang kaya akan vegetasi dapat menangkap dan menyimpan air dari hujan dengan jumlah yang besar, dimana akan memperlambat terjadinya limpasan permukaan (*surface runoff*). Air ini akan habis secara perlahan, menyerap ke dalam tanah, atau akan kembali pada atmosfer melalui evaporasi dan transpirasi.

- Contoh pembangunan daerah perkotaan dan pengaruhnya terhadap debit limpasan yang dapat terjadi

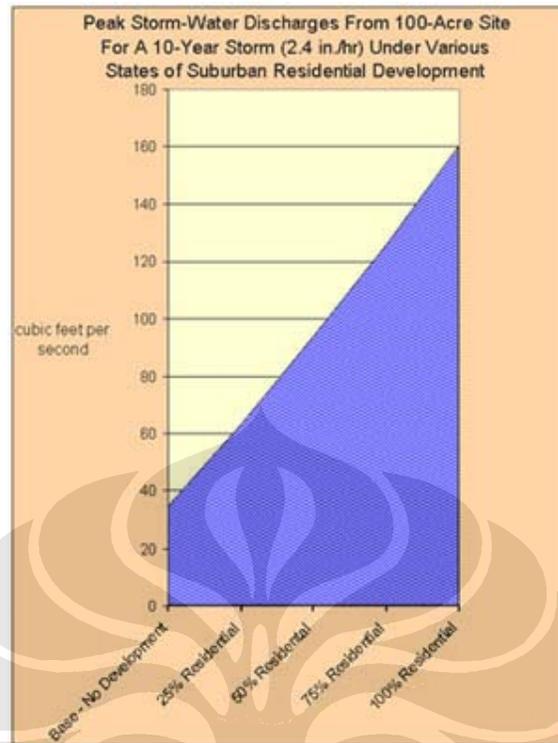
Sebagai contoh diperlihatkan suatu kondisi lingkungan pada saat pembangunan suatu daerah perumahan yang mempunyai luas area 100 *acre* dengan peningkatan dari debit limpasan yang dapat terjadi dalam berbagai tingkatan pembangunan dalam daerah tersebut (sebelum pembangunan, setelah 25% pembangunan, 50% pembangunan, 75% pembangunan, hingga 100% pembangunan), sebagai berikut:



Gambar 2.16 Pengaruhnya Pembangunan Pada Siklus Hidrologi ¹⁸

Setelah pembangunan dalam daerah 100 *acre* tersebut akan sangat mempengaruhi tingkat limpasan permukaan yang terjadi, yang dapat dilihat sebagai berikut:

¹⁸ Op Cit



Gambar 2.17 Grafik Peningkatan Debit Limpasan Akibat Pembangunan dalam Suatu Daerah Perumahan Berdasarkan Persentase Pembangunan ¹⁹

2.1.4 Masalah-masalah yang Dapat Disebabkan oleh Hujan Setelah Pembangunan

Hujan adalah suatu kejadian yang terjadi secara alami. Pada suatu lingkungan alam, air hujan akan turun pada permukaan tanah dimana sebagian akan terinfiltrasi ke dalam tanah, melimpas pada badan daratan dan mengalir pada badan air permukaan, terevaporasi kembali ke langit dan lain sebagainya di dalam siklus hidrologi. Tetapi, jika lingkungan alam yang sama didatangi, dihuni, dan dikembangkan oleh manusia menjadi suatu daerah perkotaan, maka yang semula merupakan vegetasi dan tanah asli daerah tersebut, menjadi tertutup oleh gedung-gedung dan jalan-jalan raya, sehingga lahan tersebut berubah fungsi menjadi kawasan pemukiman, komersil, dan sebagainya. Berubahnya tata guna lahan ini akan mempengaruhi daya resap air tanah pada daerah tersebut.

¹⁹ Op Cit

Dalam suatu daerah perkotaan, berbagai macam pembangunan di atas lahan asli menggunakan permukaan-permukaan yang tidak dapat meresap air (tidak permeabel), seperti permukaan yang terbangun oleh beton dan aspal (misalnya gedung-gedung dan jalan-jalan raya). Hal ini akan mempengaruhi air limpasan (*surface runoff*) yang terjadi pada daerah perkotaan tersebut. Jika tidak dikelola dengan baik, maka air limpasan yang terjadi dapat menimbulkan beberapa masalah, sebagai berikut:

- Erosi,
- Dampak Lingkungan,
- Banjir, dan
- Masalah-masalah Pertanian.

2.1.4.1 Erosi

Masalah erosi yang disebabkan oleh aliran permukaan (*surface runoff*) dapat memberikan berbagai dampak pada lingkungan yang mengalaminya, seperti antara lain menipisnya lapisan permukaan tanah bagian atas yang akan menyebabkan menurunnya kemampuan lahan (degradasi lahan), dan juga menurunnya kemampuan tanah untuk meresapkan air (infiltrasi) dimana akan meningkatkan limpasan air permukaan yang dapat mengakibatkan banjir di sungai. Selain itu, butiran tanah yang terangkut oleh aliran permukaan tersebut pada akhirnya akan mengendap di sungai, berupa sedimentasi. Akibat tingginya sedimentasi dalam sungai ini dapat mengakibatkan pendangkalan sungai sehingga akan mempengaruhi kelancaran jalur pelayaran.



Gambar 2.18 Erosi Yang Dapat Terjadi Pada Suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) ²⁰

2.1.4.2 Dampak Lingkungan

Jika kondisi alam dan lingkungan telah rusak akibat perkembangan perkotaan dalam suatu kawasan, daya tampung waduk, sungai, akifer, rawa, danau, dan bendung menjadi sangat terbatas akibat laju sedimentasi yang tidak terkendali. Akibatnya, berbagai bencana alam dapat terjadi secara bergantian, seperti terjadinya kekeringan di musim kemarau, terjadi banjir bandang dan tanah longsor pada musim hujan, dan lain sebagainya.

Limpasan permukaan (*surface runoff*) dapat membawa material hasil erosi masuk ke dalam sungai. Jika daya tampung sungai lebih kecil daripada limpasan permukaan, timbullah bencana seperti banjir dan tanah longsor. Tanah longsor adalah salah satu bentuk erosi di mana pengangkutan dan pergerakan masa tanah berlangsung dalam waktu yang relatif singkat serta dengan volume sangat besar sekaligus.

²⁰ [Hutan Hujan Tropis Ngirangi Erosi. Diakses 12 Desember 2007, dari Mongabay. http://world.mongabay.com/javanese/405.html](http://world.mongabay.com/javanese/405.html)



Gambar 2.19 Bencana Tanah Longsor yang Terjadi di Manado (kiri) dan di Indragiri Hilir (kanan) ²¹

2.1.4.3 Banjir

Kejadian banjir dapat terjadi pada suatu daerah perkotaan oleh sebab jumlah *runoff* permukaan (*surface runoff*) yang terkumpul setelah suatu kejadian hujan yang besar dan mempunyai masalah sistem pengelolaan air limpasan perkotaan yang kurang baik. Banjir merupakan suatu bencana yang sangat merugikan bagi masyarakat yang hidup pada daerah yang terkena oleh banjir tersebut. Kerugian-kerugian yang dapat terjadi adalah seperti kerusakan pada infrasktruktur perkotaan, jumlah korban banjir yang besar, timbulnya masalah kesehatan pada masyarakat yang terkena banjir, dan terjadinya kerugian ekonomi yang besar bagi daerah perkotaan tersebut.



Gambar 2.20 Banjir Yang Terjadi di Daerah Jakarta Timur ²²

²¹ “15 Tewas Akibat Longsor di Manado”, 21 Februari 2006. Diakses 12 Desember 2007, dari [Tempo](http://www.tempointeraktif.com/hg/nasional/2005/01). <http://www.tempointeraktif.com/hg/nasional/2005/01>, dan “Tanah Longsor di Parit 7”, 19 Juni 2007. Diakses 12 Desember 2007 dari Situs Resmi Kabupaten Indragiri Hilir. <http://www.inhil.go.id>

²² [Laporan Wartawan Wahana Lingkungan Hidup Indonesia \(WALHI\). Kuswardono, Torry. Mining and Energy Campaigner. “Environmental Kaleidoscope 2006.” Diakses 31 Maret 2008. http://www.eng.walhi.or.id/kampanye/psda/061228_enviro_kaleidoscope_li](http://www.eng.walhi.or.id/kampanye/psda/061228_enviro_kaleidoscope_li)



Gambar 2.21 Banjir di Aceh Mengakibatkan Sampah Menumpuk²³

2.1.4.4 Masalah-masalah Pertanian

Limpasan permukaan (*surface runoff*) yang dapat meningkatkan jumlah sedimen yang ada di dalam suatu sungai dapat juga menimbulkan suatu masalah untuk daerah yang mengembangkan hasil pertanian. Umumnya, masalah-masalah yang berkaitan dengan pertanian tersebut menyangkut penurunan secara signifikan kapasitas air irigasi yang disebabkan oleh meningkatnya jumlah sedimentasi pada saluran-saluran irigasi. Masalah yang lainnya yang dapat terjadi adalah kerusakan yang tinggi pada infrastruktur irigasi. Hal ini dapat menurunkan produktivitas pertanian yang dapat dihasilkan.

2.2 *Urban Rainwater Management* (Pengelolaan Air Hujan perkotaan)

2.2.1 *Pengertian Umum Urban Rainwater Management*

Hujan merupakan suatu kejadian alami yang dapat menimbulkan bencana bagi suatu daerah perkotaan, jika tidak dikelola dengan baik; tetapi juga dapat menjadi hal yang menguntungkan jika pengelolaan air hujan tersebut menjadi suatu hal yang diperhatikan dan dilaksanakan dengan baik.

Pada saat terjadi limpasan air hujan di dalam suatu daerah perkotaan, air hujan yang melimpas menjadi sulit untuk meresap kembali

²³ [Laporan Wartawan Kompas Andy Riza Hidayat, Mahdi Muhammad. "Banjir Aceh Tamiang: Bantuan Terhambat, Pengungsi Terancam Kelaparan". Kompas, 26 Desember 2006. Diakses 12 Desember 2007, dari Kompas. http://www.kompas.co.id/ver1/Nusantara/0612/26/205207.htm](http://www.kompas.co.id/ver1/Nusantara/0612/26/205207.htm)

ke dalam tanah, oleh sebab bangunan perkotaan yang mempunyai permukaan-permukaan kedap air yang menutupi lahan tersebut. Oleh karena itu, jumlah air hujan yang turun pada daerah perkotaan tersebut akan terinfiltrasi pada lahan perkotaan dengan jumlah yang lebih sedikit dibandingkan dengan jika lahan tersebut masih dalam keadaan asli (vegetasi dan tanah asli) dan jumlah limpasan permukaan (*surface runoff*) akan melimpas dengan jumlah yang lebih besar. Hal ini dapat mengganggu Neraca Air (*water balance*) pada daerah tersebut. Yang dapat menyebabkan perubahan Neraca Air pada umumnya, dan limpasan permukaan pada khususnya, adalah pada saat daerah-daerah yang lebat akan pepohonan dan sebagainya dihabiskan, lalu dibuat saluran-saluran dan perataan lahan, dan pada akhirnya dibangun suatu daerah perkotaan.

Untuk menangani hal ini, maka diperlukan suatu bentuk pengelolaan yang khusus supaya tidak menimbulkan masalah (seperti yang dibahas pada bagian sebelumnya) bagi daerah perkotaan tersebut. Bentuk pengelolaan air hujan ini dikenal sebagai Manajemen Air Hujan Perkotaan (*Urban Rainwater Management*).

Pengelolaan air hujan perkotaan (*Urban Rainwater Management*) merupakan konsep utama dari pengertian bahwa air hujan yang melimpas pada suatu daerah perkotaan merupakan suatu sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan bagi daerah perkotaan tersebut, dan bukan merupakan suatu bentuk masalah yang harus diatasi²⁴. Hal ini sangat berlaku untuk dapat mengembangkan suatu daerah perkotaan dengan baik.

2.2.2 Tujuan *Urban Rainwater Management* dan Aplikasi di Indonesia

Seperti yang sudah dibahas, tujuan dari *Urban Rainwater Management* adalah untuk meningkatkan jumlah infiltrasi yang terjadi pada suatu daerah. Air yang terinfiltrasi ke dalam tanah dengan jumlah yang besar akan meningkatkan persediaan air di dalam tanah, sehingga menjadi *recharge* air tanah pada daerah tersebut. Dengan jumlah air tanah

²⁴ A Guidebook for British Columbia: Stormwater Planning, UBC, May, 2002

yang lebih banyak, dapat menjadi perlindungan bagi lingkungan alam daerah tersebut, dimana jumlah air tanah dapat terus terjaga jumlahnya sehingga tidak dapat merusak lingkungan disekitarnya. Dalam lingkungan perkotaan yang terbangun, *urban rainwater management* juga bertujuan untuk mempertahankan dan merestorasi Neraca Air alami beriringan dengan berjalannya waktu. Hal ini juga akan membantu untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat yang hidup di dalam suatu daerah perkotaan tersebut.

Dalam suatu daerah perkotaan, air merupakan suatu sumber daya yang sangat dibutuhkan dalam aktivitas rumah tangga sehari-hari. Pada saat jumlah penduduk pada suatu daerah perkotaan terus bertambah, persediaan air untuk memenuhi seluruh kebutuhan air akan terus meningkat juga. Di Indonesia, terdapat suatu perusahaan yang menyediakan sumber air bersih yang disediakan oleh PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum), yang dapat dimanfaatkan jika membayar suatu upah untuk fasilitas ini. Tetapi, jangkauan dari fasilitas yang disediakan oleh PDAM masih terbatas dan tidak mencapai seluruh daerah hunian masyarakat. Oleh karena itu, masyarakat yang tidak terjangkau oleh fasilitas air bersih ini harus mencari alternatif untuk perolehan air. Pada umumnya, hal ini dilakukan dengan memperoleh air dari dalam tanah (air tanah). Ada yang menggunakan sumur air, atau juga *jet pump*. Oleh karena itu jumlah air tanah di daerah ini harus terus dijaga. Maka dari itu, *urban rainwater management* juga dibutuhkan.

2.2.3 Konsep LID (*Low-Impact Development*) dalam *Urban Rainwater Management* (Pengelolaan Air Hujan Perkotaan)

LID (*Low-Impact Development*) atau Pengembangan Dampak-Rendah dalam bahasa Indonesia, merupakan suatu konsep pengelolaan air hujan perkotaan yang berwawasan lingkungan yang dikembangkan pertama kali di *Prince George's County, Maryland, Amerika Serikat* pada tahun 1990. LID itu sendiri ialah suatu pendekatan desain teknis dan perencanaan lahan yang mempunyai tujuan untuk meniru kondisi

hidrologis asli pada suatu DAS dalam daerah perkotaan yang akan dikembangkan lebih lanjut, sebelum terjadinya pembangunan tersebut. Ini berarti tujuan utama LID adalah untuk meniru siklus hidrologi asli pada suatu daerah sebelum terjadinya pembangunan dengan menyerap (infiltrasi), menyaring (filter), menyimpan, melalui evaporasi, dan mempertahankan air limpasan permukaan (*surface runoff*) dekat dengan sumbernya, dengan mengaplikasikan suatu kontrol sumber (*source control*).

LID adalah suatu konsep menyeluruh dengan pendekatan yang berdasarkan atas teknologi (*technology-based approach*) untuk mengelola air hujan di suatu daerah perkotaan dalam fitur *landscape* yang relatif kecil dan hemat biaya, daripada dikelola secara besar-besaran dalam fasilitas penampungan air yang besar yang terletak di hilir suatu DAS. Konsep kontrol sumber (*source control*) ini adalah cukup berbeda dengan metode pengelolaan hujan secara konvensional. Juga, jika vegetasi *landscape* bekerjasama dengan media filter, dapat menghilangkan bakteri, metal, dan nutrien, dari limpasan air permukaan (*surface runoff*).

Teknologi yang dapat mendukung konsep LID (*Low-Impact Development*) dikenal sebagai teknologi BMP (*Best Management Practice*).

2.2.4 Teknologi Aplikasi *Best Management Practice* (BMP) dengan Konsep LID (*Low-Impact Development*) dalam *Urban Rainwater Management* (Manajemen Air Hujan Perkotaan)

Teknologi BMP (*Best Management Practice*) yang digunakan untuk mendukung konsep LID (*Low-Impact Development*) terdiri dari berbagai teknologi aplikasi struktural yang digunakan untuk mengurangi perubahan-perubahan yang dapat terjadi pada kuantitas dan kualitas dari air limpasan permukaan (*surface runoff*) yang disebabkan oleh perubahan-perubahan yang terjadi pada tata guna lahan suatu daerah. Secara umum, BMP fokus kepada permukaan yang kedap air dari hasil pembangunan dalam suatu daerah.

Antara lain, teknologi BMP ini didesain untuk mengurangi volume air dan debit puncak dari hasil limpasan permukaan (*surface runoff*) melalui proses evapotranspirasi, infiltrasi, detensi (*detention*), dan filtrasi. Berberapa contoh dari teknologi BMP adalah sebagai berikut:

- *Bioretention / Rain Garden*
- *Rain Barrel dan Cisterns*
- *Permeable Pavement*
- *Pourous Concrete*
- *Green Roofs*
- *Retention Ponds*
- *Filter Strip*
- *Vegetated Swale*
- *Level Spreader*

2.2.4.1 *Bioretention / Rain Garden*

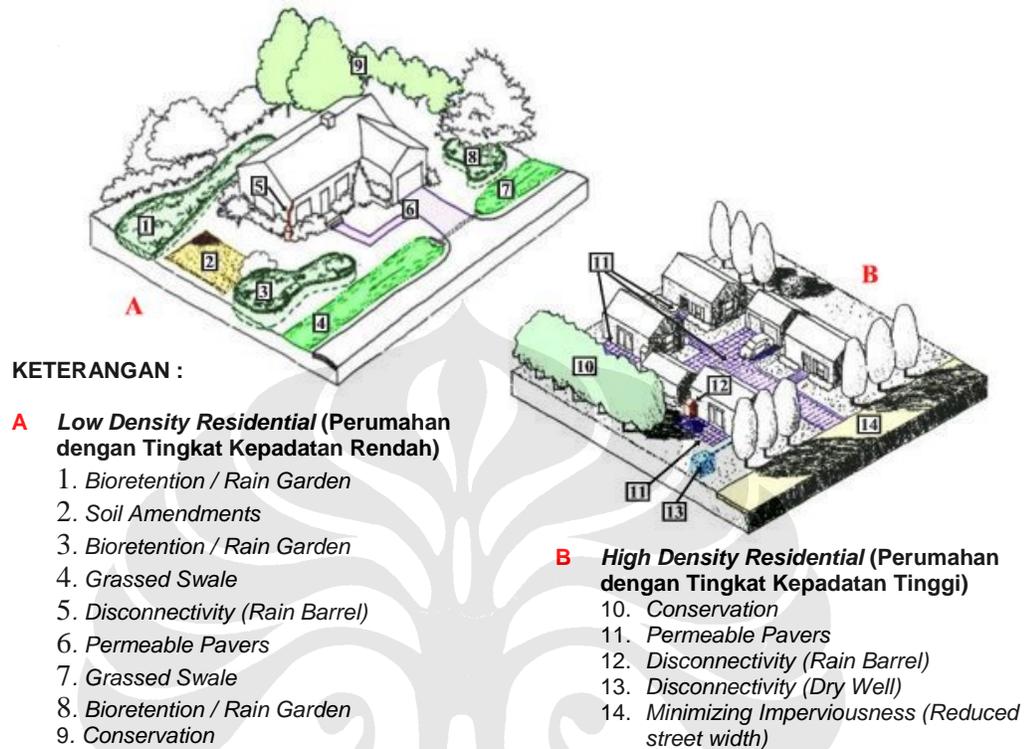
Rain Garden (taman hujan) yang juga dikenal sebagai *bioretention* merupakan teknologi dari aplikasi *LID* yang membangun taman terbuka hijau pada lokasi halaman suatu perumahan. Fungsi dari *bioretention* ini adalah untuk menyerap limpasan hujan (*rainfall runoff*) dari area perkotaan yang kedap air seperti atap-atap bangunan, jalanan, terotoar, dan area taman yang padat. Taman hujan ini akan mengurangi limpasan hujan dengan memberi jalan kepada air hujan untuk menyerap ke dalam tanah (dibandingkan dengan pengaliran pada drainase hujan dan air permukaan yang dapat menyebabkan erosi, polusi air, dan genangan air pada permukaan daratan).

Bioretention ini telah sukses diimplementasikan pada tipe perkembangan daerah *sub-urban*, seperti halnya di Kota Depok.

Taman hujan yang dibangun terdiri dari beberapa lapisan yang spesifik seperti :

- Tanah,
- Pasir, dan

- Tanaman Organik (rerumputan atau jerami yang telah membusuk).



Gambar 2.22 Aplikasi Bioretention di Daerah Perumahan Dengan Tingkat Kepadatan Penduduk Rendah (kiri) dan Tinggi (kanan)²⁵



Gambar 2.23 Penerapan Bioretention dalam Perumahan²⁶

²⁵ LID Tools in Residential Context. Diakses 31 Maret 2008, dari Rain Garden Design Templates: Low Impact Development Center.

http://www.lowimpactdevelopment.org/raingarden_design/lid_residential.htm

²⁶ Bioretention: Low Density Residential. Diakses 31 Maret 2008, dari Urban Design Tools: Low Impact Development.

http://www.lid-stormwater.net/bioretention/biolowres_home.htm

2.2.4.2 *Rain Barrel dan Cistern*

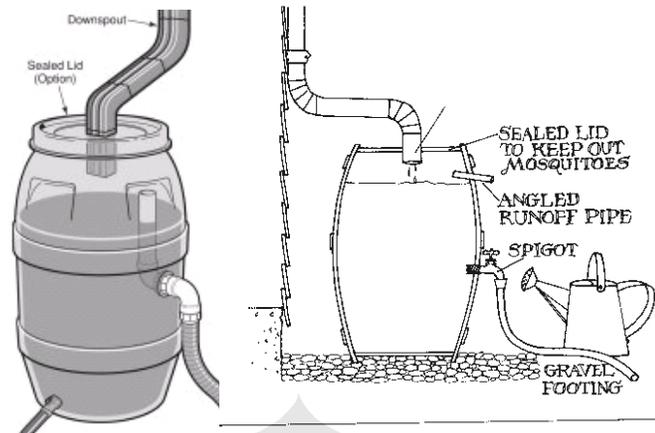
Rain barrel merupakan teknologi dari aplikasi *LID* untuk membuat tabung yang digunakan untuk menampung air hujan untuk dapat digunakan untuk keperluan sehari-hari di rumah tangga, seperti menyiram tanaman, mencuci mobil, dan sebagainya. Tujuan untuk mengadakan *rain barrel* di suatu rumah adalah untuk mengendalikan limpasan curah hujan yang berasal dari atap rumah, untuk dapat mengurangi dampak yang dapat ditimbulkan limpasan tersebut terhadap tanah, dan mencegah terjadinya erosi tanah.

Keuntungan menggunakan *rain barrel* ini adalah biaya pembuatannya yang murah, penggunaan lahan yang kecil, dan pemeliharaan yang mudah. Teknologi ini dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini:



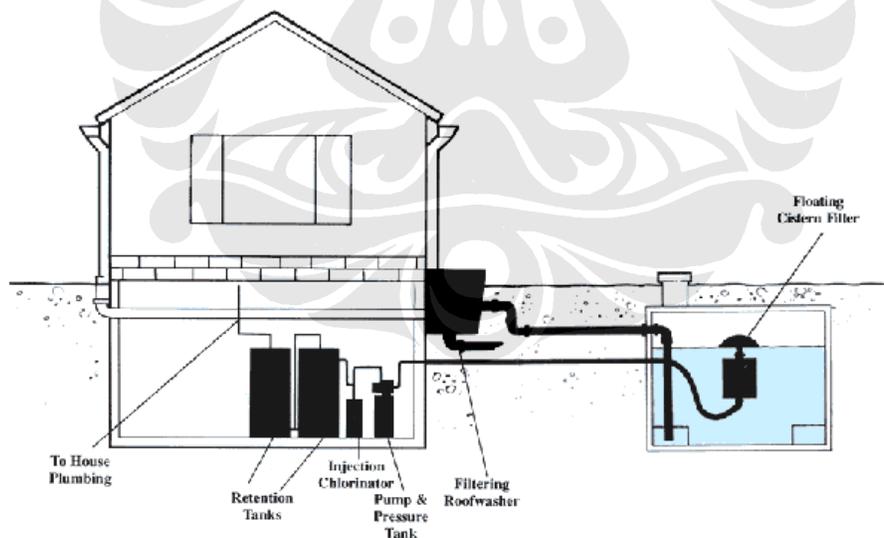
Gambar 2.24 *Rain Barrel* Yang Dapat Dibuat di Suatu Rumah²⁷

²⁷ *Rain Bairrels and Cisterns*. Diakses 31 Maret 2008, dari *Urban Design Tools: Low Impact Development*. http://www.lid-stormwater.net/raincist_home.htm



Gambar 2.25 Penerapan Teknologi *Rain Barrel*²⁸

Berbeda dengan *rain barrel*, *cistern* merupakan teknologi dari aplikasi *LID* untuk membuat suatu tabung dengan ukuran yang lebih besar dari *rain barrel*, yang memiliki fungsi yang sama yaitu untuk digunakan untuk menampung air hujan untuk keperluan sehari-hari di rumah tangga. *Cistern* dapat dibangun/diletakkan di luar rumah di atas permukaan tanah ataupun di bawah permukaan tanah.



Gambar 2.26 Penerapan Teknologi *Ciistern* Yang Dibangun di Bawah Permukaan Tanah²⁹

²⁸ *LID Sustainable School Projects Website* Diakses 31 Maret 2008, dari *Low Impact Development.org*. <http://www.lowimpactdevelopment.org/school/rainb/rb3.html>

²⁹ *Water Treatment System*. Diakses 31 Maret 2008, dari *Water Infiltration Company*. www.waterfiltrationcompany.com/watertreatment.htm



Gambar 2.27 Penerapan Teknologi Cistern yang Dibangun di Atas Permukaan Tanah ³⁰

2.2.4.3 *Permeable Pavement*

Permeable Pavement merupakan teknologi dari aplikasi LID untuk membangun suatu perkerasan jalan yang dapat diterapkan di suatu trotoar, jalan, dan area parkir di dalam dan luar rumah, yang dibangun dengan pori-pori seluas area yang ingin dibangun untuk dapat menyerapkan air ke dalam tanah dibawahnya.

Keuntungan dari pembangunan *permeable pavement* dapat dilihat sebagai berikut:

- Mengurangi limpasan air hujan dari lokasi karena infiltrasi air;
- Mengurangi frekuensi overflow saluran gabungan sehingga air tidak mudah tergenang;
- *Recharge* air tanah;
- Meningkatkan kualitas air karena mengurangi polutan karena berkurangnya zat nitrogen, bakteri dan fosfor yang dihasilkan di lingkungan tersebut, dan *Total Suspended Soil (TSS)* *nitrite*, *nitrate*, *phosphate*, *phosphorus*, *metals*, *Biological Oxygen Demand (BOD)*, dan ammonium;

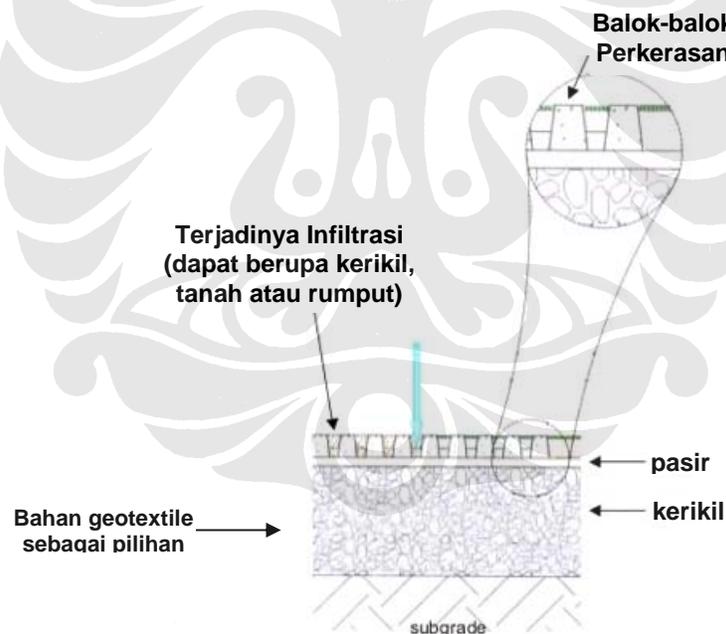
³⁰ *Fiber Glass Cistern Tanks*. Diakses 31 Maret 2008, dari *River Bend Industries*.
www.riverbendind.com/cistern.htm

- Mengurangi daerah kedap air;
- Mengurangi kebutuhan saluran air dan sistem penahan air hujan; dan
- Mengurangi suhu air limpasan.

Teknologi *permeable pavement* ini dapat dilihat pada gambar-gambar berikut:



Gambar 2.28 Penerapan Teknologi *Permeable Pavement*³¹

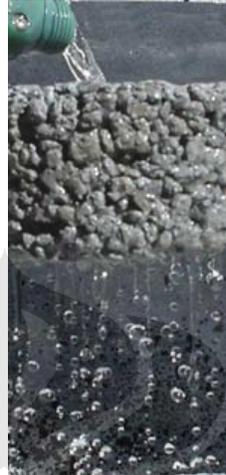


Gambar 2.29 Potongan Melintang *Permeable Pavement*

³¹ *Permeable Pavers*. Diakses 31 Maret 2008, dari *Urban Design Tools: Low Impact Development*. http://www.lid-stormwater.net/permpavers_benefits.htm

2.2.4.4 *Porous Concrete*

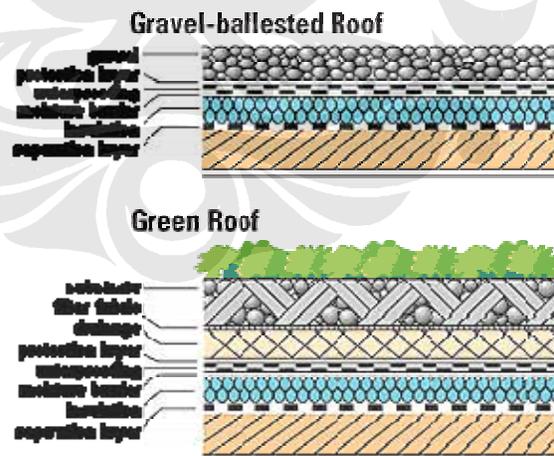
Porous Concrete merupakan teknologi dari perkerasan jalan yang memiliki pori-pori untuk dapat meresapkan air melaluinya.



Gambar 2.30 Teknologi *Porous Concrete* ³²

2.2.4.5 *Green Roof*

Green Roof merupakan area vegetasi yang merupakan bagian dari atap sebuah bangunan gedung. Teknologi ini terdiri atas media penumbuhan tanaman, layer penyaring/filtrasi, layer drainase, lapisan kedap air and vegetasi.



Gambar 2.31 Beberapa Jenis *Green Roof* ³³

³² *Porous Concrete*. Diakses 31 Maret 2008, dari *Low Impact Development for Roads*. <http://www.metrokc.gov/kcdot/roads/eng/lid/militaryS272/porousconcrete.cfm>

³³ *Toronto Launches Green Roof Incentive Pilot Program*. Diakses 31 Maret 2008, dari Jason Tsang's Blog. <http://jtsang.blogspot.com/2006/06/toronto-launches-green-roof-incentive.html>



Gambar 2.32 Potongan Green Roof ³⁴

Keuntungan dari penerapan teknologi *green roof* adalah sebagai berikut:

- *Green roof* dapat mengurangi *runoff* air hujan yang terjadi yang dilimpaskan melalui atap suatu bangunan, yang dapat memperbaiki kualitas air dalam aliran air lokal.
- *Green roof* dapat memberikan insulasi kepada bangunannya dimana suhu dalam bangunan itu dapat menjadi lebih sejuk pada saat musim panas dan lebih hangat pada saat musim dingin.
- *Green roof* dapat menjadi tempat habitat baru untuk berbagai ragam burung dan insekta lainnya.
- *Green roof* dapat memperpanjang umur atap.

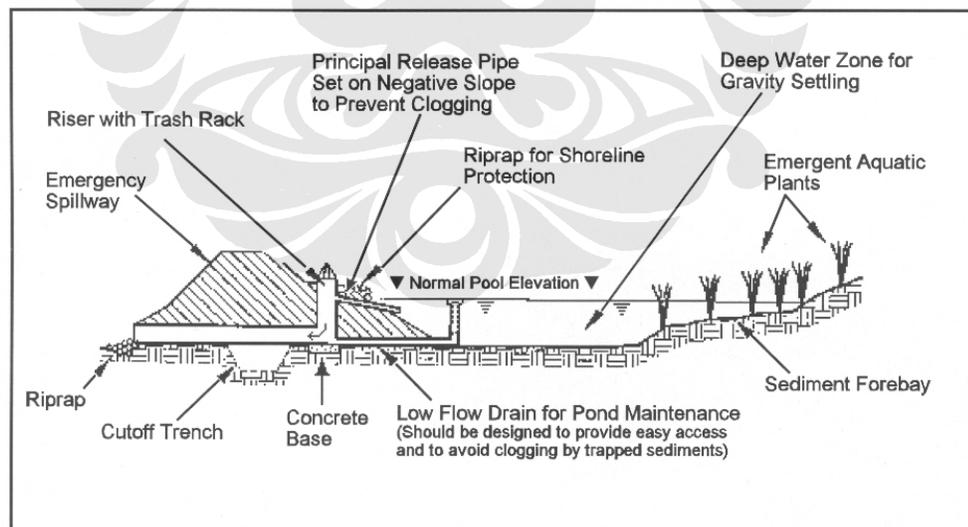
³⁴ *Rooftop Housing & Rooftop Gardens*. Diakses 31 Maret 2008, dari *nyc & hudson chronicler of architecture, bad, good & otherwise*.
http://www.usemenow.com/web-log/archives/2005/02/rooftop_housing.html

2.2.4.6 Retention Pond

Retention pond (yang juga dikenal sebagai *wet pond*) merupakan teknologi pembangunan danau-danau buatan ataupun juga memanfaatkan danau-danau yang sudah ada sebagai tempat terjadinya retensi air dalam danau tersebut. Fungsi suatu danau retensi adalah sebagai tempat penerimaan sejumlah volume air dari *runoff* hujan, dan juga untuk memberikan tempat penampungan air hujan untuk diolah dan digunakan kembali oleh masyarakat.



Gambar 2.33 Teknologi Retention Pond



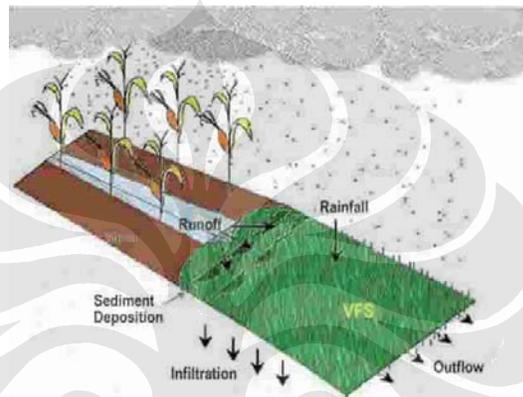
Source: NVPDC, 1992.

Gambar 2.34 Gambar Potongan dan Penjelasan Teknologi Retention Pond³⁵

³⁵ *Retention Systems*. Diakses 31 Maret 2008, dari *Urban BMPs and Cost Estimation*.
http://www.ecn.purdue.edu/runoff/ubmp0/retention_systems.htm

2.2.4.7 *Filter Strip*

Filter strip merupakan teknologi dari aplikasi LID yang membangun suatu strip lahan yang ditumbuhi dengan tanaman yang padat, yang mempunyai fungsi untuk meningkatkan kualitas air permukaan yang masuk melalui filter tersebut. *Runoff* air yang datang dari air hujan akan disaring melalui filter ini, sehingga air tersebut dapat terinfiltrasi ke dalam tanah.



Gambar 2.35 Gambar dari Penerapan Teknologi *Filter Strip* ³⁶

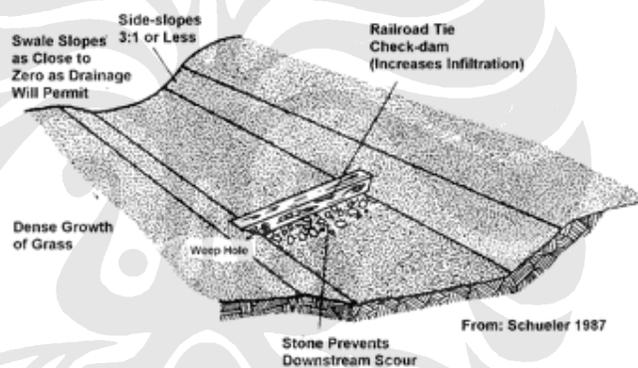
2.2.4.8 *Vegetated Swale*

Vegetated swale merupakan teknologi aplikasi LID yang didesain untuk dapat menyerap air ke dalam tanah melalui infiltrasi alami melalui suatu saluran drainase, dimana saluran tersebut terbuat dari tanah. Ukuran dari *vegetated swale* ini adalah lebar yang mempunyai kedalaman yang dangkal. Fungsi dari teknologi ini adalah untuk meningkatkan kualitas air yang menyerap ke dalam tanah dan mengurangi kecepatan aliran air dengan meningkatkan jalannya aliran air tersebut dengan memperpanjang saluran dan kekasaran dari saluran tersebut.

³⁶ *Vegetative Filter Strip Modeling System*. Diakses 31 Maret 2008, dari VESMOD.
<http://carpena.ifas.ufl.edu/vfsmod/>



Gambar 2.36 Gambar dari Penerapan Teknologi *Vegetated Swale* ³⁷



Gambar 2.37 Gambar Desain Teknologi *Vegetated Swale* ³⁸

2.2.4.9 Level Spreader

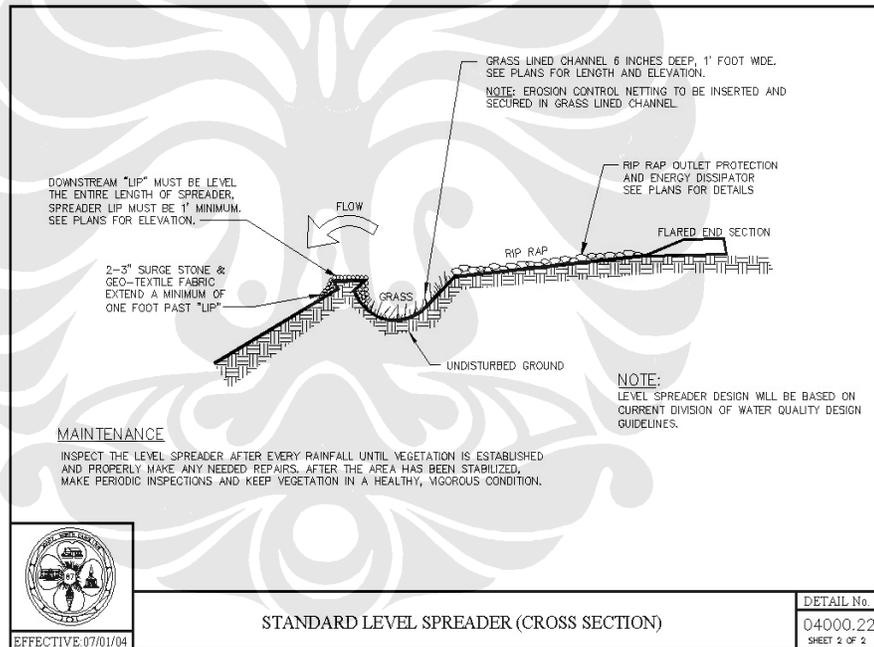
Level spreader merupakan teknologi aplikasi LID yang didesain untuk dapat menkonversikan aliran yang terkonsentrasi, menjadi rata diatas suatu lapisan permukaan. Ini akan menghasilkan suatu aliran yang terbagi merata di atas permukaan tanah untuk meminimalkan erosi yang biasanya dapat terjadi pada saluran air yang konvensional.

³⁷ *Pinehills Development in Plymouth*. Diakses 31 Maret 2008, dari *Massachusetts Examples*.
<http://www.mass.gov/envir/lid/examples.htm>

³⁸ *Tanski, Jay. Vegetated Swale*. Diakses 31 Maret 2008, dari *Stormwater Runoff Best Management Practices For Marinas: A Guide for Operators*.
www.seagrant.sunysb.edu/pages/BMPsForMarinas.htm



Gambar 2.38 Gambar dari Aplikasi Teknologi *Level Spreader* di Lapangan³⁹



Gambar 2.39 Gambar Potongan *Level Spreader*⁴⁰

³⁹ *Level Spreaders*. Diakses 31 Maret 2008, dari *Coffee Creek Watershed Preserve*.
<http://www.coffeecreekwc.org/pages/levelspreaders.htm>

⁴⁰ *Standard Level Spreader (Cross Section)*. Diakses 31 Maret 2008.
<http://www.townofcary.org/depts/dsdept/engineering/detaildrawings/ACAD-0400022-2of2.htm>

2.3 Aplikasi *Rainwater Management* dengan Menggunakan 'Water Balance Model'

2.3.1 Latar Belakang 'Water Balance Model'

'Water Balance Model' atau 'Model Neraca Air', dalam Bahasa Indonesia, merupakan suatu proyek yang didanai oleh suatu Persekutuan Antar-Pemerintah dimana anggotanya berasal dari semua tingkat pemerintahan di dalam *British Colombia (BC), Canada* yang dikembangkan pada tahun 2002. Proyek ini dikembangkan untuk mengevaluasi efektifitas dari kontrol sumber air hujan (*rainwater source controls*), sebagai suatu alat modeling skenario *public-domain* (untuk umum) berbasis-internet untuk manajemen air hujan (*rainwater management*), dimana hanya dapat digunakan secara *on-line* (melalui internet), melalui website www.waterbalance.ca.

'Water Balance Model' itu sendiri adalah suatu program aplikasi permodelan untuk menghitung Neraca Air (*water balance*) dalam manajemen air hujan perkotaan (*urban rainwater management*). Model ini digunakan sebagai suatu alat bantu dalam pengembangan suatu kawasan perkotaan yang akan ditinjau, baik itu merupakan kawasan pemukiman ataupun kawasan umum lainnya (komersil, pendidikan, kesehatan, dll).

'Water Balance Model' dapat diaplikasikan untuk membantu para pengguna model untuk mengembangkan suatu kawasan yang baru atau yang sudah ada, dengan mempertahankan kondisi hidrologis yang asli pada kawasan tersebut. Dengan menggunakan volume air hujan sebagai suatu target pencapaian untuk menilai efektifitas dari berbagai strategi kontrol sumber hujan (*stormwater source control strategies*) yang ada, model ini akan memberikan suatu alat pra-perencanaan yang dapat mudah digunakan oleh para pengguna melalui internet.

2.3.2 Tujuan 'Water Balance Model'

Tujuan dari 'Water Balance Model' adalah untuk menggali potensi dari suatu kawasan yang baru akan dibangun atau untuk melakukan

pengembangan lebih lanjut pada suatu kawasan perkotaan dengan mempertahankan kondisi hidrologi yang asli pada kawasan tersebut.

Perubahan dari suatu kawasan dengan kondisi alami menjadi suatu kawasan perkotaan, akan meningkatkan jumlah limpasan permukaan (*surface runoff*) dan menurunkan tingkat infiltrasi yang dapat terjadi pada kawasan tersebut. Oleh karena itu, *water balance model* ini yang dibangun oleh kerjasama antar pemerintah propinsi daerah dari *British Columbia, Canada* untuk mengembalikan kondisi asli tingkat infiltrasi / resapan air dari hasil presipitasi suatu daerah aliran sungai pasca pembangunan di suatu lokasi untuk menjadi seperti semula sebelum pembangunan itu terjadi.

Salah satu tujuan dari proyek '*Water Balance Model*' ini adalah untuk membantu perencana-perencana untuk '*think outside the pipe*'⁴¹. Yang dimaksud dengan pernyataan ini adalah untuk mendorong para perencana untuk berani berpikir secara kreatif dan inovatif pada saat mengembangkan suatu kawasan umum atau suatu daerah pemukiman. Tujuannya adalah untuk mengintegrasikan volume limpasan air hujan dengan perencanaan tata guna lahan yang sesuai dengan mengembangkan konsep Pengelolaan Hujan Secara Terintegrasi (*Integrated Stormwater Management*) dan Berwawasan Lingkungan.

Panduan untuk konsep Pengelolaan Hujan Secara Terintegrasi ini menggunakan prinsip ADAPT, yang merupakan singkatan dari:

- **A**gree that stormwater is a resource.
(Setuju bahwa hujan adalah suatu sumber daya.)
- **D**esign for the complete spectrum of rainfall events.
(Desain untuk seluruh macam spektrum hujan yang ada.)
- **A**ct on a priority basis in at-risk drainage catchments.
(Bertindak dengan prioritas yang berbasis pada drainase DAS yang beresiko.)
- **P**lan at four scales – regional, watershed, neighbourhood & site.

⁴¹ A Guidebook for British Columbia: Stormwater Planning, UBC, May, 2002

(Merencanakan pada empat skala - regional, DAS, kompleks & satu lokasi).

- *Test solutions and reduce costs by adaptive management.*

(Menguji solusi dan mengurangi biaya dengan manajemen penyesuaian.)

2.3.3 Tahapan Penggunaan 'Water Balance Model'

Dalam menggunakan 'Water Balance Model' ada beberapa hal yang harus diperhatikan, seperti jenis tanah asli lahan (*native soil*), tata guna lahan (*land use*), dan penutup permukaan lahan (*surface type*) pada daerah yang akan ditinjau. Hal-hal tersebut akan digunakan untuk merencanakan cara pengembangan lahan yang paling baik dan tidak mengganggu kondisi hidrologis yang asli pada daerah itu. Tahapan penggunaan 'Water Balance Model' adalah sebagai berikut:

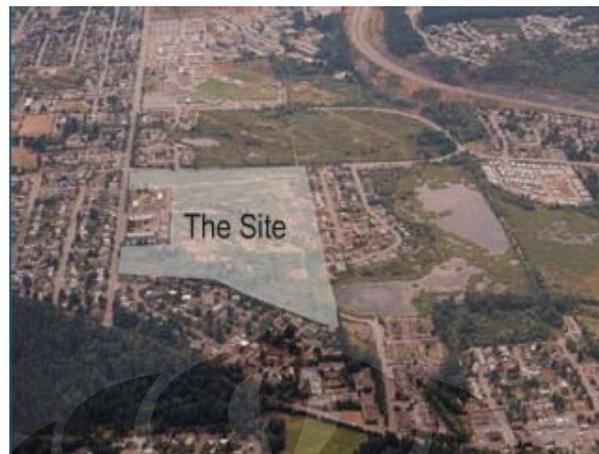
1. *Create A New Project* (Buat Proyek Baru)
2. *Create A New Scenario* (Buat Skenario Baru)
3. *Describe Native Soils* (Jelaskan Jenis Tanah Asli)
4. *Add Land Use Information* (Tambahkan Informasi Tata Guna Lahan)
5. *Describe Surface Types* (Jelaskan Tipe Penutup Permukaan Lahan)

2.3.4 Contoh Penggunaan 'Water Balance Model'

Water balance model yang dibangun oleh kerjasama antar pemerintah propinsi daerah dari *British Columbia, Canada* diciptakan untuk mengembalikan kondisi asli tingkat infiltrasi / resapan air dari hasil presipitasi suatu daerah aliran sungai pasca pembangunan di suatu lokasi untuk menjadi seperti semula sebelum pembangunan itu terjadi.

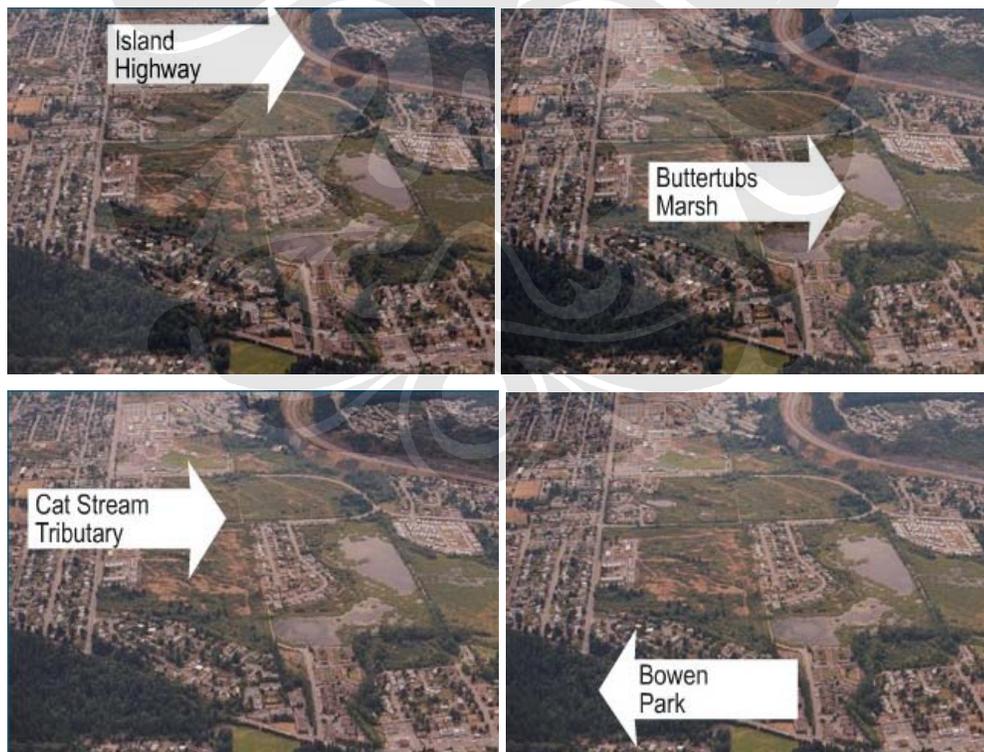
Contoh penggunaan *water balance model* ini, yang diambil dari website www.waterbalance.ca, bagian *Example*, dapat dilihat sebagai berikut:

1. Lokasi aplikasi model adalah suatu proyek pengembangan perumahan di Pulau Vancouver. Lokasi ini, ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.40 Lokasi (site) aplikasi Water Balance Model di Pulau Vancouver, Kanada

2. Beberapa fitur penting yang akan mempengaruhi desain pada lokasi pengembangan adalah sebagai berikut:



Gambar 2.41 Beberapa Fitur Penting yang akan mempengaruhi Desain Pengembangan Wilayah Hunian dalam Proyek, yaitu Jalan Bebas Hambatan (atas kiri), daerah Rawa (atas kanan), Anak Sungai (bawah kiri), dan Taman (bawah kanan)

3. Proyek ini didesain untuk menyesuaikan sifat dan karakteristik daerah perumahan yang akan dibangun dengan lingkungan perumahan di sekitarnya.



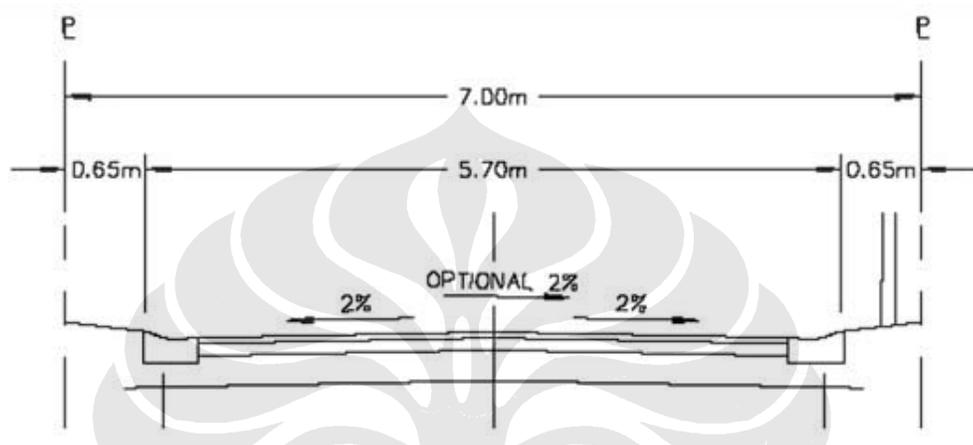
Gambar 2.42 Contoh Perumahan Yang Akan Dibangun

4. Salah satu karakteristik dalam daerah perumahan ini yang menjadi fokus dari aplikasi *water balance model* adalah jalan-jalan lokal dalam perumahan ini yang mencakup jalan kecil yang melau rumah-rumah dalam perumahan dari belakang (*back lanes*).



Gambar 2.43 Jalan Belakang (*back lanes*) Dalam Suatu Perumahan

5. Sebagai suatu bagian dari proses pengembangan desain, berbagai pilihan dipertimbangkan dalam desain jalan yang baik. Untuk menilai dampak yang dapat diberikan hujan pada daerah tersebut, masing-masing pertimbangan desain ini dimodelkan dengan menggunakan *Water Balance Model*. Solusi yang pertama dipertimbangkan adalah standar jalan permukiman, sebagai berikut:



Gambar 2.44 Standar Jalan Dalam Perumahan

6. Faktor-faktor utama dalam standar jalan permukiman ini adalah sebagai berikut:
- 82 % permukaan kedap air
 - 18 % bahu jalan rerumputan



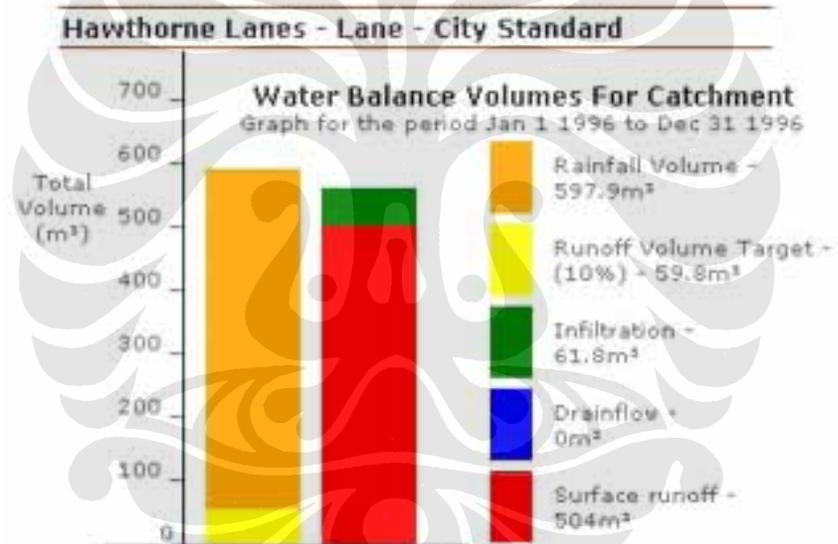
Gambar 2.45 Jalan Perumahan Yang Ditinjau

7. Faktor-faktor ini diinput ke dalam model, dan dibuat grafik, sebagai berikut:

Nanaimo Standard Lane over Hawthorne Rock (Road - 700m²)

Step 1	Step 2	Step 3
Choose a Surface Condition	Apply as a Percentage	
[Choose...]	<input type="text"/> of 'Nanaimo Standard Lane' over Hawthorne Rock	<input type="button" value="Apply Condition"/>
Define / Edit a Surface Condition		
(D)-Default (R)-Regionally Defined (UD)-User Defined		
Surface Conditions	Area	Surface Condition Details
(D)-Grass - (Shoulder)	18% - 126 m ²	<input type="button" value="View"/> <input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>
(D)-Impervious Paving	82% - 574 m ²	<input type="button" value="View"/> <input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>

Gambar 2.46 Input Informasi Standar Jalan ke Dalam 'Water Balance Model'



Gambar 2.47 Grafik Hasil Input Informasi ke Dalam 'Water Balance Model'

Hasil ini menunjukkan bahwa volume hujan sebesar 597,9 m³ yang akan terjadi, dengan target volume limpasan sebesar 10% (59,8 m³), akan menyebabkan limpasan permukaan (*surface runoff*) sebesar 504 m³, dan tingkat infiltrasi hanya sebesar 61,8 m³.

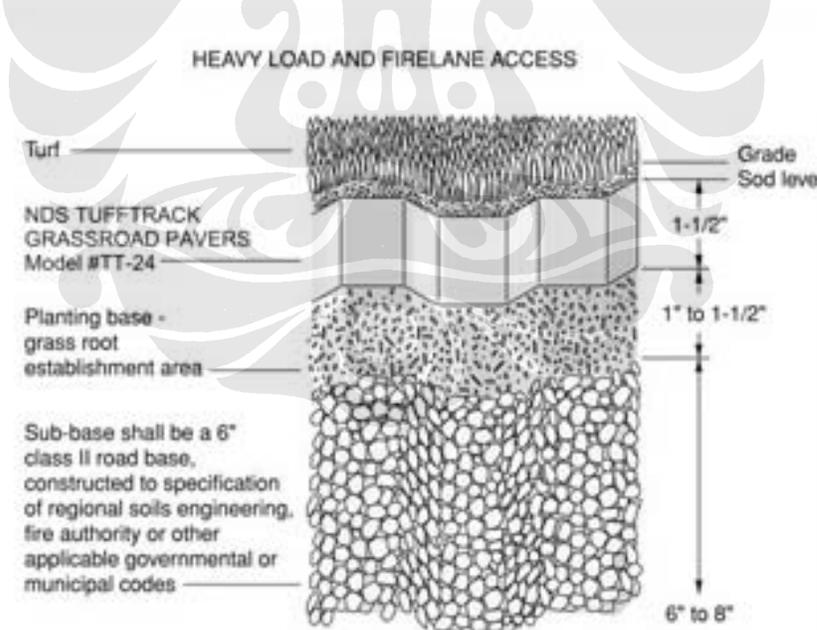
- Untuk mengurangi tingkat limpasan permukaan ini, dikembangkan suatu alternatif pengembangan jalan dengan luasan kedap air yang lebih kecil.

Proposal ini akan mengizinkan lalu lintas satu arah dan menyerupai kondisi eksisting jalan dalam kota tersebut.



Gambar 2.48 Jalan Satu Arah Sebagai Alternatif Pengembangan Jalan Dalam Perumahan

9. Dengan potongan yang menggunakan penguatan hamparan rumput (*turf reinforcement*), suatu permukaan yang tidak kedap air dikembangkan yang dapat menahan lalu lintas yang ringan dan mendukung infiltrasi untuk terjadi.



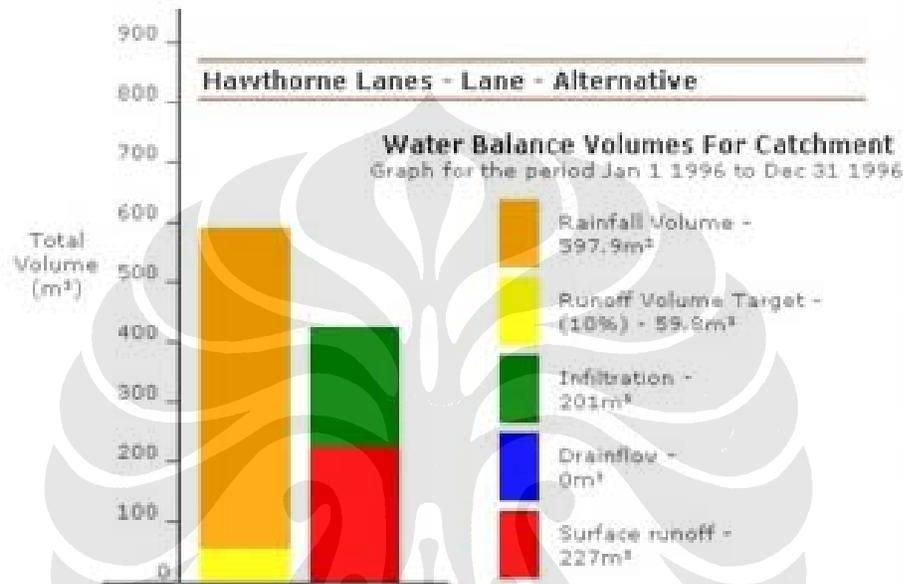
Gambar 2.49 Potongan Permukaan Jalan Tidak Kedap Air Yang Dapat Mendukung Infiltrasi Untuk Terjadi

10. Faktor utama dalam aplikasi alternatif jalan adalah sebagai berikut:

➤ *Right of way* 7,0 m

- Lajur yang diaspal sebesar 2,7 m
- Bahu jalan yang diperkuat sebesar 1,0 m
- **38 %** permukaan jalan kedap air
- **62 % landscaping** yang dapat menyerap air

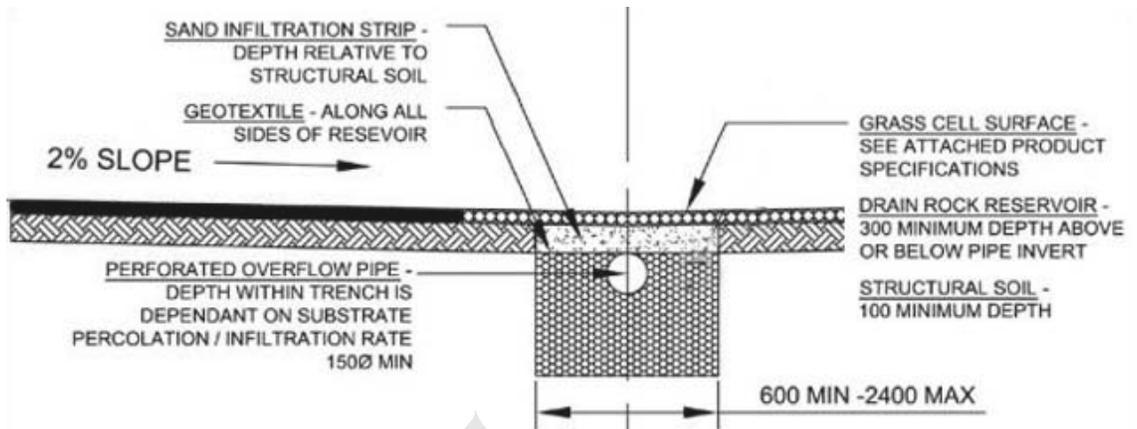
Faktor-faktor ini lalu diinput kembali ke dalam model, dan dibuat grafik, sebagai berikut:



Gambar 2.50 Grafik Hasil Input Informasi Alternatif Jalan ke Dalam 'Water Balance Model'

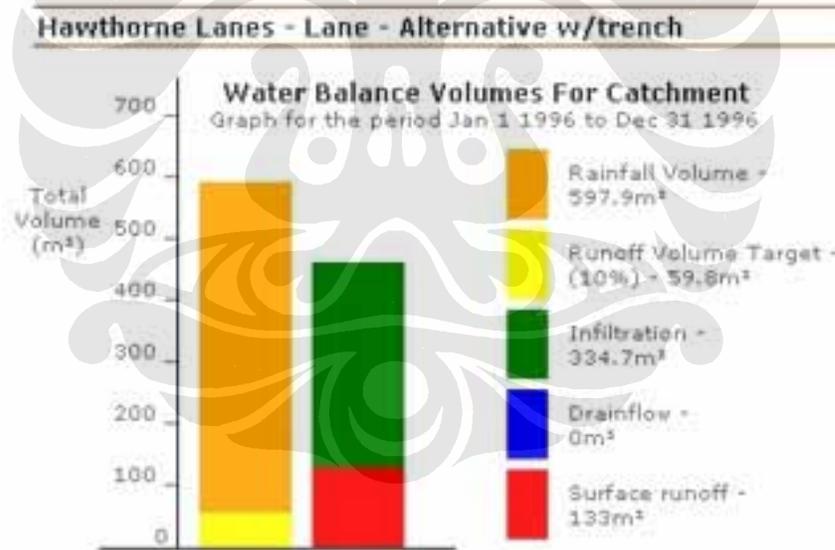
Hasil ini menunjukkan bahwa dengan volume hujan yang sama sebesar 597,9 m³ yang akan terjadi, dengan target volume limpasan yang sama juga sebesar 10% (59,8 m³), setelah aplikasi alternatif jalan akan menyebabkan limpasan permukaan (*surface runoff*) sebesar 227 m³, dan tingkat infiltrasi yang lebih besar yaitu 201 m³.

11. Untuk mengurangi tingkat limpasan permukaan (*surface runoff*) yang lebih besar lagi, suatu parit infiltrasi (*infiltration trench*) digunakan pada alternatif jalan ini, sebagai berikut:



Gambar 2.51 Alternatif Jalan Perumahan Dengan Menggunakan Parit Infiltrasi

12. Setelah parit infiltrasi diaplikasikan ke dalam alternatif jalan perumahan ini, jumlah tingkat limpasan permukaan (*surface runoff*) akan berkurang lebih besar yang dapat dilihat pada grafik yang dihasilkan oleh *Water Balance Model* sebagai berikut:



Gambar 2.52 Grafik Hasil *Input* Informasi Alternatif Jalan Dengan Penambahan Parit Infiltrasi ke Dalam 'Water Balance Model'

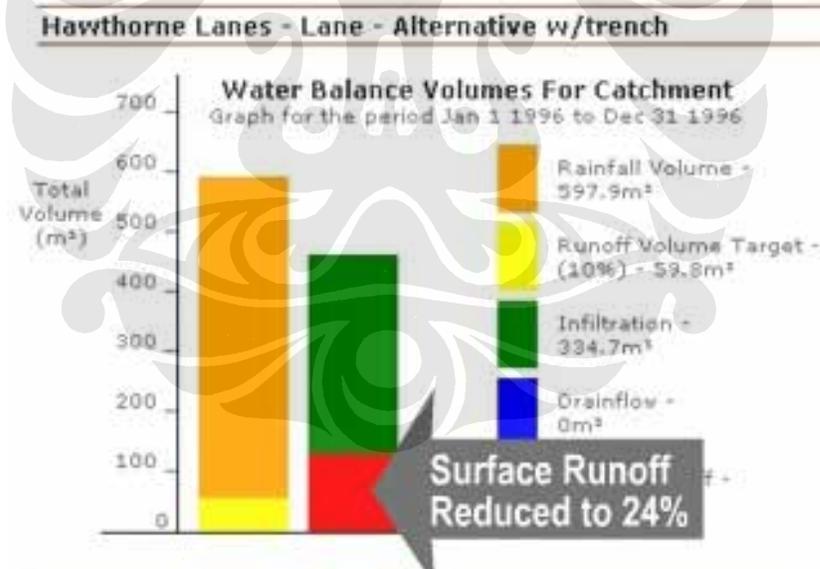
Hasil ini menunjukkan bahwa dengan volume hujan yang sama sebesar $597,9 \text{ m}^3$ yang akan terjadi, dengan target volume limpasan yang sama juga sebesar 10% ($59,8 \text{ m}^3$), setelah aplikasi alternatif jalan dengan penambahan parit infiltrasi pada jalan tersebut, akan mengurangi limpasan

permukaan (*surface runoff*) menjadi hanya 133 m³ dengan tingkat infiltrasi yang lebih besar menjadi 334,7 m³.

13. Ringkasan dari ketiga alternatif jalan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2.2 Ringkasan Hasil Input Informasi Alternatif Jalan

	Tingkat Kedap Air	Tingkat Rembesan	Limpasan (<i>Runoff</i>)
Standar Lajur Perkotaan	82 %	18 %	84 %
Lajur Satu Arah	38 %	62 %	36 %
Lajur Satu Arah dengan Kontrol Sumber (<i>Source Control</i>)	38 %	62 %	24 %



Gambar 2.53 Grafik Ringkasan Hasil Input Informasi Alternatif Jalan Dengan Penambahan Parit Infiltrasi ke Dalam 'Water Balance Model' (Limpasan Permukaan Menjadi 24 %)