



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SAM RATULANGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UPT - PERPUSTAKAAN

Jln. Kampus Unsrat Bahu, Manado 95115  
Telp. (0431) 852959 ; Fax. (0431) 823705; e-Mail:fatek 02@ mdo.mega net.id

**SURAT KETERANGAN**

Nomor: 04 /PFT/2017

Yang bertanda tangan di bawah ini, Kepala UPT-Perpustakaan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, menerangkan bahwa:

Nama : **Ir. Isri Ronald Mangangka, M.Eng., Ph.D.**  
NIP : 19650924 199303 1 003  
Pangkat / Golongan ruang : Pembina / IV/a  
Jabatan : Lektor Kepala  
Jurusan /Program Studi : Teknik Sipil /S1 Teknik Lingkungan

Telah menyerahkan Laporan Penelitian, sbb:

***Laporan Akhir Tahun Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) – November 2016, berjudul Penerapan Konsep “Water Sensitive Urban Design” sebagai Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan di Kota Manado.***

untuk disimpan dan digunakan sebagai bahan bacaan pada UPT-Perpustakaan Fakultas Teknik Unsrat. Demikian surat keterangan ini untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Manado, 18 September 2017  
a.n. Kepala UPT-Perpustakaan  
Fakultas Teknik Unsrat,

Servie O. Dapas, ST., MT.

NIP. 19671003 199303 1 001

Bidang Unggulan PT : Infrastruktur

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 421/ Teknik Sipil

**LAPORAN AKHIR TAHUN**  
**PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**  
**The Development and Upgrading of Seven Universities**  
**In Improving the Quality and Relevance of**  
**Education in Indonesia**



**PENERAPAN KONSEP “WATER SENSITIVE URBAN DESIGN” SEBAGAI  
SISTEM DRAINASE BERWAWASAN LINGKUNGAN DI KOTA MANADO**

**Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun**

**Ir. Isri Ronald Mangangka, M.Eng., Ph.D.**  
**NIDN : 0024096505**

**Dr.Eng. Pingkan Peggy Egam, ST. MT.**  
**NIDN : 0002027206**

**Ir. Hansye Jeki Tawas, M.Agr.**  
**NIDN : 0008125807**

**UNIVERSITAS SAM RATULANGI**

**NOVEMBER 2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Penerapan Konsep “Water Sensitive Urban Design”  
Sebagai Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan di Kota  
Manado

**Peneliti/Pelaksana**

Nama Lengkap : Ir. ISRI RONALD MANGANGKA M.Eng., Ph.D.  
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi  
NIDN : 0024096505  
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala  
Program Studi : Teknik Sipil  
Nomor HP : 081242865495  
Alamat surel (e-mail) : isrimangangka@hotmail.com

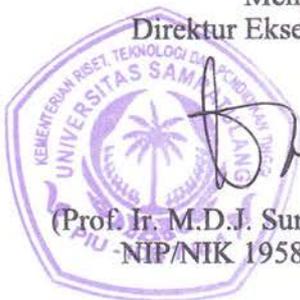
**Anggota (1)**

Nama Lengkap : PINGKAN PEGGY EGAM  
NIDN : 0002027206  
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

**Anggota (2)**

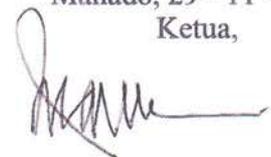
Nama Lengkap : HANSYE JEKI TAWAS  
NIDN : 0008125807  
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi  
Institusi Mitra (jika ada) : -  
Nama Institusi Mitra : -  
Alamat : -  
Penanggung Jawab : -  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 130.000.000,00  
Biaya Keseluruhan : Rp 300.000.000,00

Mengetahui,  
Direktur Eksekutif PIU Unsrat



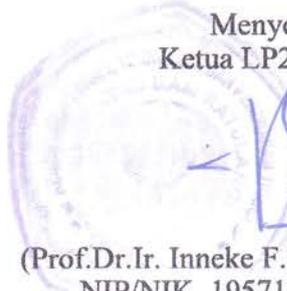
(Prof. Ir. M.D.J. Sumajouw, M.Eng, Ph.D.)  
NIP/NIK 195812171988031002

Manado, 29 - 11 - 2016  
Ketua,



(Ir. ISRI RONALD MANGANGKA M.Eng.,  
Ph.D.)  
NIP/NIK 196509241993031003

Menyetujui,  
Ketua LP2M Unsrat



(Prof. Dr. Ir. Inneke F.M. Rumengan, MSc)  
NIP/NIK 195711051984032001

## RINGKASAN

Masalah banjir dan kerusakan lingkungan merupakan konsekuensi dari pembangunan. Dampak tersebut termasuk perubahan terhadap kualitas air hujan maupun kuantitasnya (Goonetilleke et al. 2005; Prakash 2005; Wong 2006). Hal ini disebabkan karena bertambahnya bagian permukaan lahan yang kedap air dan meningkatnya aktivitas kehidupan manusia yang menambah produksi berbagai jenis limbah (Herngren et al. 2006). Kota Manado merupakan kota yang strategis dan memiliki perkembangan dan tingkat pertumbuhan penduduk dan ekonomi yang sangat pesat. Dalam kurun waktu kurang dari dua dasawarsa, lebih dari 50 ha kawasan bisnis baru telah dikembangkan melalui upaya reklamasi Pantai Manado. Demikian pula manjamurnya pembangunan wilayah pemukiman baru dalam sepuluh tahun terakhir ini telah menyebabkan perubahan fungsi lahan Kota Manado yang sangat signifikan. Melejitnya pembangunan dan pembukaan lahan baru baik untuk kawasan ekonomi/bisnis maupun kawasan pemukiman secara signifikan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan hidup (environmental degradation).

Penerapan sistem drainase yang berwawasan lingkungan yang merupakan komponen dari model pembangunan perkotaan (urban development) yang modern dan berwawasan lingkungan sangat diperlukan untuk mewujudkan Visi Kota Manado yaitu “Manado Kota Model Ekowisata”. Water Sensitive Urban Design (WSUD) merupakan salah satu konsep penanganan air hujan yang berwawasan lingkungan yang dapat menggantikan sistem drainase konvensional.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dan mengidentifikasi areal/kawasan pembangunan baru (kawasan bisnis/komersial dan kawasan pemukiman) dimana Konsep WSUD dapat diterapkan untuk menggantikan sistem drainase konvensional. Identifikasi difokuskan untuk menetapkan komponen struktur WSUD apa saja yang tepat untuk diaplikasikan pada setiap areal/kawasan pembangunan baru. Konsep WSUD yang dipilih kemudian dievaluasi kesesuaiannya dengan komponen-komponen lain dalam model pembangunan perkotaan (urban development) yang berwawasan lingkungan. Luaran yang akan dihasilkan pada tahun pertama adalah berupa Pra-desain Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan menggunakan Konsep WSUD. Pra-desain ini kemudian akan ditawarkan kepada pengembang untuk didetailkan. Tujuan akhir dari penelitian ini (yaitu pada akhir tahun kedua) adalah untuk menghasilkan produk berupa Detail Desain Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan menggunakan Konsep WSUD, yang dapat dibangun oleh pengembang.

Penelitian ini bekerjasama dengan para pengembang yang ada di Kota Manado. Investigasi dan Identifikasi dilakukan pada setiap kawasan pengembangan tersebut. Investigasi diawali dengan desk studi, yaitu berdasarkan gambar-gambar perencanaan yang dimiliki oleh para pengembang. Investigasi dilanjutkan dengan survey lapangan untuk melakukan pengamatan secara visual. Pada survey lapangan ini, dilakukan klarifikasi dan pengukuran-pengukuran untuk mendapatkan dimensi-dimensi yang benar sesuai kondisi di lapangan. Konsultasi dengan para pengembang tetap dibutuhkan hingga diperoleh Pra-desain dan Detail Desain Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan Menggunakan Konsep WSUD.

Laporan Akhir Tahun ini berisi hasil-hasil dan luaran yang telah dicapai selama tahun 2016 ini dan rencana lanjutan kegiatan tahun 2017

**Kata kunci: Drainase berwawasan lingkungan, water sensitive urban design, WSUD**

## **PRAKATA**

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat tuntunannya kegiatan Penelitian dengan Judul “Penerapan Konsep ‘Water Sensitive Urban Design’ sebagai Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan di Kota Manado” dapat terlaksana dengan baik.

Melalui kesempatan ini kami selaku Tim Peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada Rektor Universitas Sam Ratulangi, Prof. Dr. Ir. Ellen Joan Kumaat, MSc., DEA, kepada Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sam Ratulangi, Prof. Dr. Ir. Inneke F. M. Rumengan, MSc. dan kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Prof. Dr. Ir. Jeffrey I. Kindangen, DEA, yang sudah memberi kesempatan kepada Tim Peneliti ini untuk melaksanakan kegiatan penelitian ini. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada para developer, yang sudah mendukung terlaksananya kegiatan penelitian ini.

Kegiatan penelitian ini telah selesai untuk Tahun I dengan dihasilkannya pra-design perencanaan drainase berwawasan lingkungan mengaplikasikan konsep Water Sensitive Urban Design (WSUD) di beberapa lokasi pengembangan. Kegiatan penelitian ini juga telah menghasilkan luaran berupa makalah yang dipresentasikan pada Konferensi Internasional SICEST 2016 dan book chapter yang diterbitkan oleh SPRINGER Internasional.

Akhir kata, semoga luaran yang dihasilkan dari kegiatan penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Manado, November 2016

Ketua Tim Peneliti,

**Ir. Isri Ronald Mangangka, M.Eng., Ph.D.**

NIP. 19650924 1993031 003

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PRAKATA.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Gross Pollutant Traps .....	5
2.2 Vegetated Swales, Filter Strips dan Bioretention Swales .....	6
2.2.1 Vegetated Swales .....	6
2.2.2 Filter Strips.....	6
2.2.3 Bioretention Swales .....	6
2.3 Detention, Retention Ponds/Basins .....	7
2.4 Infiltration Systems .....	7
2.5 Bioretention Basins .....	8
2.6 Cosntructed Wetlands .....	8
<b>BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....</b>	<b>9</b>
3.1 Tujuan Penelitian .....	9
3.2 Manfaat/Urgensi Penelitian.....	9
3.3 Hasil yang Ditargetkan dan Kontribusi Terhadap Ilmu Pengetahuan.....	9
<b>BAB 4. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>11</b>
4.1 Lokasi Penelitian .....	11
4.2 Peta Jalan (Road Map) .....	11
4.3 Tahapan Penelitian .....	13
4.4 Luaran .....	15

<b>BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI .....</b>	<b>17</b>
5.1 Pemilihan Obyek Penelitian .....	17
5.1.1 Penetapan Obyek dan Variabel Evaluasi .....	19
5.1.2 Matriks Evaluasi.....	20
5.2 Analisa Hidrologi .....	22
5.2.1 Uji Data Hujan Outlier .....	23
5.2.2 Analisis Curah Hujan Rancangan .....	25
5.3 Aplikasi Komponen WSUD pada Lokasi-lokasi Pengembangan .....	29
5.4 Kemajuan Pekerjaan yang Telah dicapai .....	31
5.5 Luaran yang Telah dicapai .....	33
<b>BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA .....</b>	<b>35</b>
6.1 Rencana Tahapan Pelaksanaan Tahun II.....	35
6.2 Rencana Luaran Tahun II.....	36
<b>BAB 7. Kesimpulan dan Saran .....</b>	<b>38</b>
7.1 Kesimpulan .....	38
7.2 Saran.....	38
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>39</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b>	<b>41</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1: Matriks Analisa MCDM.....	20
Tabel 2: Penetapan Obyek Berdasarkan Urutan Ranking.....	21
Tabel 3. Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Klimatologi Kayuwatu .....	23
Tabel 4. Perhitungan Outlier Data Hujan Stasiun Kayuwatu .....	24
Tabel 5. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Menggunakan Distribusi Gumbel Tipe I.....	26
Tabel 6. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Menggunakan Distribusi Log Normal Dua Parameter .....	27
Tabel 7. Curah Hujan Rancangan Dengan Distribusi Log Pearson Tipe III .....	28
Tabel 8. Rekapitulasi Curah Hujan Rancangan Tiap Metode.....	28
Tabel 9: Komponen WSUD untuk Masing-masing Lokasi Pengembangan .....	29
Tabel 10: Progres Pekerjaan .....	31
Tabel 11: Progres Luaran yang Telah Dicapai .....	33

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1: Peta Jalan (Road Map) Penelitian .....	12
Gambar 2 : Hasil Analisis Perhitungan Curah Hujan Rancangan Harian .....	28
Gambar 3: Pra-desain Constructed Wetland di lokasi pengembangan Grand Kawanua .....	30

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1: Artikel dipresentasikan pada Konferensi Internasional SICEST 2016 .....	41
Lampiran 2: Publikasi Book Chapter yang diterbitkan oleh SPRINGER Internasional .....	48

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dampak urbanisasi terhadap siklus air alami sangatlah jelas. Dampak tersebut termasuk perubahan baik terhadap kualitas air hujan maupun kuantitasnya (Goonetilleke et al. 2005; Prakash 2005; Wong 2006). Bertambahnya bagian permukaan kedap air akibat urbanisasi telah menyebabkan lebih sering terjadi dan makin besarnya volume limpasan permukaan air hujan karena makin berkurangnya infiltrasi air hujan ke dalam tanah (Clar et al. 2004a; Wong et al. 2000). Hal lain yang merupakan dampak urbanisasi terhadap kuantitas air hujan yaitu makin pendeknya waktu konsentrasi (lag time) yang diakibatkan pada makin besarnya debit limpasan permukaan (runoff). Dampak hidrologi dan hidrolika air hujan di perkotaan telah disadari sebagai ancaman yang serius terhadap lingkungan. Akan tetapi, dampak urbanisasi terhadap kualitas air hujan adalah jauh lebih kritis. Hal ini disebabkan karena meningkatnya aktivitas kehidupan manusia yang menambah produksi berbagai jenis limbah (Herngren et al. 2006).

Pelestarian lingkungan belakangan ini telah menjadi topik yang menarik perhatian berbagai kalangan, mulai dari masyarakat biasa, para ahli ilmu pengetahuan dan pemerintah sebagai pemegang regulasi. Kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh polusi hasil buangan aktivitas manusia, termasuk polusi air hujan merupakan masalah yang perlu disikapi dengan serius, mengingat lingkungan yang telah rusak tidak dapat diperbaiki. Meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap polusi air hujan dan dampaknya terhadap lingkungan tahun-tahun belakangan ini telah meningkatkan perhatian semua pihak akan strategi penanganan air hujan di perkotaan yang berfokus pada pembersihan bahan pencemar (pollutant) air hujan. Perhatian publik akan pentingnya penanganan polusi air hujan di perkotaan telah menyebabkan pemerintah selaku pemegang otoritas regulasi ditantang untuk menyediakan sistem manajemen yang bijaksana dan sesuai (Goonetilleke and Thomas 2003).

Penerapan sistem drainase yang berwawasan lingkungan dirasakan sebagai salah satu upaya untuk menjawab persoalan ini. Secara tradisional sistem drainase perkotaan bertujuan untuk membuang air limpasan permukaan secepat-cepatnya untuk meminimalkan resiko banjir. Akan tetapi, dengan meningkatnya kesadaran masyarakat atas persoalan-persoalan lingkungan belakangan ini, penanganan air hujan tidak hanya difokuskan pada penanganan kuantitasnya tetapi lebih terintegrasi pada manajemen kuantitas dan kualitas dengan

tambahan tujuan/sasaran yaitu keramahan (amenity), pemandangan dan estetika, konservasi air dan restorasi ekologi (Victorian Stormwater Committee 1999; Wong 2000; Brown 2005).

Water Sensitive Urban Design (WSUD) merupakan salah satu konsep penanganan air hujan yang berwawasan lingkungan yang dapat menggantikan sistem drainase konvensional dengan menggunakan metoda detensi, retensi dan infiltrasi. WSUD adalah salah satu konsep manajemen air hujan yang berwawasan lingkungan dengan pendekatan filosofi model dan perencanaan kota (urban design) yang bertujuan untuk meminimalkan dampak hidrologi pembangunan perkotaan (urban development) terhadap lingkungan sekitarnya (Lloyd et al. 2002). Konsep WSUD memandang air hujan sebagai aset, bukan sebagai ancaman, sehingga WSUD memanfaatkan jalan air/saluran alam yang ada tanpa merubah kondisi alamianya. Konsep WSUD pertama kali digagaskan di Australia pada tahun 1990an. Konsep ini telah teruji dan digunakan pada setiap areal/kawasan pembangunan baru (new development area) di Australia. Penerapan konsep WSUD dalam manajemen air hujan dapat berupa upaya non-struktur dan komponen struktur. Komponen struktur WSUD adalah bangunan/unit penanganan air hujan yang mengurangi debit dan volume limpasan permukaan (runoff quantity treatment) dan secara bersamaan mengurangi polusinya (runoff quality treatment).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Manado sebagai Ibu Kota Provinsi Sulawesi Utara merupakan kota yang strategis dan memiliki perkembangan dan tingkat pertumbuhan penduduk dan ekonomi yang sangat pesat. Angka pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi yaitu sekitar 1,26% per tahun dibarengi dengan laju pembangunan infrastruktur yang sangat pesat mengakibatkan perubahan kondisi lahan dan penurunan daya dukungnya. Melejitnya pembangunan dan pembukaan lahan baru baik untuk kawasan ekonomi/bisnis maupun kawasan pemukiman secara signifikan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan hidup (environmental degradation). Dalam kurun waktu kurang dari dua dasawarsa, lebih dari 50 ha kawasan bisnis baru telah dikembangkan melalui upaya reklamasi Pantai Manado. Demikian pula manjamurnya pembangunan wilayah pemukiman baru dalam sepuluh tahun terakhir ini telah menjadikan nilai properti di Kota Manado meningkat 5 kali lipat. Di satu sisi, Pemerintah Kota Manado mencanangkan arah pembangunan Kota Manado menjadi kota yang berwawasan lingkungan. Hal ini tertuang dalam Visi Kota Manado yaitu “Manado Kota Model Ekowisata”.

Melejitnya pembangunan Kota Manado khususnya pengembangan kawasan bisnis/komersil dan pengembangan kawasan pemukiman baru menjadikan tantangan bagi pemerhati

lingkungan hidup, para ahli dan Pemerintah Kota Manado sebagai pemegang otoritas regulasi agar pembangunan ini terkendali dengan dampak lingkungan yang sekecil mungkin. Upaya penerapan pembangunan yang berwawasan lingkungan di berbagai sektor terutama pembangunan sarana dan prasarana fisik mutlak diperlukan demi terwujudnya kota yang berwawasan lingkungan sesuai dengan Visi Kota Manado. Sistem drainase yang merupakan salah satu fasilitas infrastruktur perkotaan juga perlu mendapat perhatian. Sistem drainase yang berwawasan lingkungan sebagai alternative dari sistem drainase konvensional dan komponen dari model pembangunan perkotaan (urban development) yang modern dan berwawasan lingkungan perlu diterapkan untuk mewujudkan Kota Manado sesuai dengan visinya. Meskipun konsep WSUD telah berhasil dikembangkan di kota-kota di Australia yang beriklim sub-tropis, namun karena kota-kota di Indonesia memiliki perbedaan karakteristik terutama perbedaan tinggi curah hujan serta sifat-sifat curah hujan dan perbedaan iklim, akan menjadi pertanyaan dan tantangan bagaimana konsep WSUD tersebut dapat diterapkan di Indonesia.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem drainase air hujan tradisional dibangun terutama dengan tujuan untuk mitigasi banjir dan sedikit sekali perhatian yang diberikan terhadap mitigasi dampak lingkungan. Dengan alasan tersebut, sistem drainase perkotaan umumnya telah dibangun dengan fokus pada kapasitas angkut untuk meminimalkan resiko terhadap banjir. Namun demikian, meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap kualitas lingkungan hidup belakangan ini menyebabkan penanganan drainase air hujan lebih terintegrasi pada manajemen kuantitas dan kualitas dengan sejumlah tujuan/sasaran tambahan yaitu keramahan (amenity), pemandangan dan estetika, konservasi air dan restorasi ekologi (Victorian Stormwater Committee 1999; Wong 2000; Brown 2005). Water Sensitive Urban Design (WSUD) adalah salah satu metoda penanganan air hujan yang terintegrasi dan berkelanjutan, diciptakan sebagai alternatif dari sistem drainase perkotaan konvensional. WSUD memiliki pendekatan filosofi untuk model dan perencanaan perkotaan yang bertujuan untuk meminimalkan dampak hidrologi dari pembangunan perkotaan terhadap lingkungan sekitar (Lloyd et al. 2002). Konsep WSUD telah diusulkan dan dikembangkan pertama kali di Australia untuk model, perencanaan dan pembangunan perkotaan terintegrasi dan berkelanjutan (Gardiner and Hardy 2005).

Penerapan konsep WSUD dalam manajemen air hujan dapat berupa upaya non-struktur dan komponen struktur atau kombinasi keduanya. Komponen struktur WSUD adalah bangunan/unit penanganan air hujan yang mencegah, membawa dan mengumpulkan bahan pencemar (polutan), mendukung proses penjernihan polutan melalui proses fisik, kimia dan biologi, serta menahan limpasan air hujan untuk meningkatkan kualitas air. Mouritz (2006) membagi komponen struktur WSUD menjadi 3 (tiga) level yang berbeda; primer, sekunder dan tersier. Level primer menargetkan sampah, limbah padat berukuran besar dan sedimen kasar. Struktur WSUD pada level ini adalah *gross pollutant trap*, *trash rack*, *sedimen trap* dan *oil collector*. Struktur WSUD level sekunder yang bertujuan untuk menghilangkan sedimen, partikel-partikel logam berat dan bakteri antara lain *vegetated buffer strips*, *grass swales*, *detention basins*, *bioretention filters*, *infiltration trenches* and *infiltration basins*. Sedangkan struktur WSUD level tersier digunakan untuk menghilangkan sedimen halus, nutrients, bakteri dan logam-logam berat. Rawa buatan (constructed wetland) adalah komponen WSUD yang termasuk dalam kategori ini. Berikut ini adalah penjelasan beberapa komponen struktur WSUD yang paling umum dijumpai.

## 2.1 Gross Pollutant Traps

Gross Pollutant Traps (GPTs) adalah komponen struktur WSUD yang berperan untuk mengurangi jumlah polutan berukuran besar (gross pollutant) yang mengalir pada saluran air. Menurut Allison, et. al. (1997), bahwa *gross pollutant* adalah debris yang berukuran lebih dari 5 mm. Karena jelas kelihatan, keberadaan *gross pollutant* pada umumnya dijadikan indikator pencemaran air. GPTs adalah komponen yang sangat penting karena melindungi komponen-komponen struktur WSUD yang ada di hilir dari penyumbatan dan kerusakan. Sejumlah tipe GPTs yang berbeda digunakan untuk penjernihan air hujan. Setiap GPT memiliki spesifikasi desain yang berbeda dengan unjuk kerja yang spesifik dalam menangkap *gross pollutant*. GPTs yang umumnya dipakai sebagai komponen struktur WSUD adalah:

- 1) Grated entrance screens, gril besi di atas saluran drainase atau manhole.
- 2) Side entry pit traps (SEPTs), gril besi yang dipasang di tepi jalan, di samping kerb sebelum runoff air hujan memasuki saluran drainase di tepi jalan
- 3) Baffled pits, bak beton dibawah tanah yang memiliki sekat-sekat untuk menangkap sampah yang mengapung dan sampah yang mengendap
- 4) Litter control devices (LCDs), bak beton di bawah tanah yang berfungsi untuk memisahkan runoff air hujan di atas dan sampah pada bilik di bagaian bawah.
- 5) Release net, jaring penyaring sampah yang ditempatkan setelah pipa drainase
- 6) Trash rack, penyaring sampah dari gril besi yang ditempatkan setelah pipa drainase
- 7) Boom diversion system, bak beton di bawah tanah yang dapat membelokkan sampah pada bilik pengumpul sampah.
- 8) Return flow litter baskets, gril besi yang menyaring sampah dari aliran air balik pada gorong-gorong.
- 9) Continuous devlective separation (CDS), alat yang pemisah *gross pollutant*, akibat gerakan air berputar. Alat ini memiliki sistem *self cleaning*.
- 10) Floating debris trap (FDT), alat untuk menangkap debris/sampah yang mengapung yang dipasang setelah outlet saluran drainase pada sungai, danau atau laut.
- 11) Flexible floating boom, juga menangkap debris mengapung, dipasang melintang saluran drainase yang berukuran besar atau melintang sungai.
- 12) Sedimen settling basin, kolam buatan yang dapat mengendapkan sedimen
- 13) Circular settling tank Humeceptor, tangki berbentuk bulat yang dapat menangkap debris dan dikumpulkan di bagian bawah tangki

14) Hydrodynamic separator Storm King, alat penangkap debris modern yang bekerja dengan membuat air bergerak memutar dalam alat tersebut.

## **2.2 Vegetated Swales, Filter Strips dan Bioretention Swales**

### **2.2.1 Vegetated Swales**

Vegetated swale adalah saluran dangkal dan lebar berpenampang parabola atau trapezium dimana pada bagian dasar dan sisi ditutupi tumbuh-tumbuhan (rumput). Tipikal vegetated swale digunakan pada median jalan, atau di tepi jalan dimana air mengalir lambat, sebagai pengganti kerb dan selokan (Fiener and Auerswald 2005). Swale umumnya didesain dengan kemiringan sisi tidak lebih curam dari 3:1, dan kemiringan memanjang antara 1% dan 4% dimana pada kemiringan ini vegetated swales dapat beroperasi baik untuk mengalirkan dan treatment air hujan.

### **2.2.2 Filter Strips**

Filter strips (atau buffer strips) adalah area berumput terbuka dimana runoff mengalir di atasnya menuju ke titik pembuangan. Runoff yang mengalir melintasi filter strips didistribusikan sebagai aliran dangkal menyebar dan rata. Filter strip secara khas disediakan sebagai *pre-treatment* sebelum runoff memasuki komponen struktur WSUD lainnya seperti vegetated swale. Filter strip tidak hanya mengurangi muatan sedimen tapi juga mengurangi volume dan debit puncak runoff dengan adanya infiltrasi dan penurunan kecepatan aliran (DCR 1999). Proses penjernihan air (water treatment) terjadi pada vegetated swales dan filter strips melalui proses fisik dan biokimia. Proses pembersihan polutan melalui proses fisik dicapai dengan cara pengendapan, filtrasi dan infiltrasi dari partikel-partikel padat tersuspensi dan juga otomatis polutan yang menempel pada partikel-partikel tersebut (Department of Water and Swan River Trust 2007). Sedangkan proses biokimia terjadi sehubungan dengan polutan tertentu seperti hidrokarbon yang oleh vegetasi dan mikroorganisme yang ada pada tanah.

### **2.2.3 Bioretention Swales**

Bioretention swales adalah vegetated swales yang pada bagian bawahnya dibuat galian parit yang diisi media bepori (biasanya lempung pasir). Proses pembersihan air pada bioretention swales terjadi oleh kombinasi komponen swale dan sistem bioretensi. Komponen swale mengeluarkan sedimen sedang dan kasar, sementara sistem bioretensi

menghilangkan partikel-partikel yang lebih halus termasuk polutan-polutan yang menempel melalui filtrasi, infiltrasi dan proses biologis.

### 2.3 Detention, Retention Ponds/Basins

Detention/retention ponds/basins (selanjutnya pada sub bab ini disebut “*retention basin*”) adalah fasilitas penanganan air hujan yang menyediakan tampungan terhadap runoff untuk ditahan selama hujan berlangsung dan kemudian secara perlahan-lahan dilepas melalui pipa outlet. Proses infiltrasi air hujan diijinkan terjadi pada *retention basin* selama periode penahanan. Karena itu, *retention basin* memberikan perlindungan di hilir dan kontrol banjir dengan mengurangi volume runoff dan menurunkan debit puncak. Mekanisme pembersihan polutan pada retention basin adalah dengan pengendapan partikel dan zat padat terlarut termasuk polutan yang melekat pada partikel seperti fosfor, logam berat dan hidrokarbon (Department of Water and Swan River Trust 2007). Lebih jauh, retention basin dapat juga memberikan estetika dan keuntungan sebagai tempat rekreasi disamping suplai air untuk irigasi dan pemadam kebakaran (Clar et al. 2004b).

### 2.4 Infiltration Systems

*Infiltration systems* menangkap runoff dan menginfiltrasikannya ke dalam tanah disekitar dimana sistim ini dipasang. Fokus utama dari infiltration system adalah pada segi kuantitas air hujan untuk mengurangi volume dan debit puncak runoff. Namun, sistem ini juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan kualitas air hujan melalui filtrasi air hujan ke dalam tanah. Berikut ini adalah beberapa bentuk infiltration systems yang sering dipakai:

- 1) **Soakwell (Sumur Resapan)**, adalah sumur kering terbuat dari beton atau PVC berbentuk silinder yang diletakkan secara vertical diatas dasar berbentuk bulat. Lubang-lubang yang ada pada dinding sumur dan lubang drainase pada dasar yang dibungkus oleh bahan geotekstil menyebabkan runoff air hujan yang dimasukkan ke dalam soakwell terinfiltrasi ke dalam tanah di seputar soakwell (Browne et al. 2008).
- 2) **Infiltration Trenches**, adalah parit dangkal berkedalaman 0,5 sampai 1,5 meter yang diisi kerikil atau agregat kasar lain, kemana runoff dialirkan. Infiltration trench dibungkus dengan bahan geotekstil untuk mencegah partikel tanah masuk ke dalam material isian.
- 3) **Porous Pavement dan Modular Pavement**. *Porous pavement* adalah lapisan penutup berpori, dibentangkan di atas lapisan agregat yang laju penyerapannya tinggi atau lapisan kerikil dibatasi bahan geotekstil. Ada dua kelompok *porous pavement*; pavement terbuka dari aspal atau beton dengan porositas yang tinggi dan *modular pavement* dengan celah

yang cukup besar di antara modul yang kedap air. Porous pavement memungkinkan runoff terinfiltrasi melalui pori-pori atau melalui celah modul-modul ke dalam lapisan agregat di bawahnya, sebelum akhirnya runoff tersebut secara berangsur-angsur meresap ke dalam tanah di bawahnya. Porous pavement dapat menghilangkan sedimen, *nutrient*, logam berat dan hidrokarbon dari air hujan melalui proses adsorpsi, filtrasi dan dekomposisi biologi.

## 2.5 Bioretention Basins

*Bioretention basin* adalah komponen struktur WSUD yang memenej dan merawat runoff air hujan dengan melewati runoff melalui media filter yang telah disediakan dan ditanami tumbuh-tumbuhan. *Bioretention basin* menggabungkan baik tumbuh-tumbuhan maupun media filter untuk menghilangkan polutan. Vegetasi yang menutup permukaan sistem meningkatkan proses filtrasi sambil menjaga porositas tanah, sementara media filter menghilangkan sedimen dan partikel padat terlarut ketika air hujan melewatinya. Bioretention basin mengurangi volume runoff melalui pengisian defisit kandungan air pada media filter dan menurunkan debit puncak dengan retensi. Transpirasi dari tumbuh-tumbuhan adalah penyebab utama terjadinya resesi kandungan air tanah pada media filter. Para peneliti mencatat adanya penurunan signifikan pada volume air hujan yang keluar dari bioretention (Hunt 2003; Hunt et al. 2006; Davis et al. 2006; Dietz and Clausen 2005).

## 2.6 Constructed Wetlands

*Constructed wetlands* (rawa buatan) adalah badan air buatan yang dangkal dan padat dengan vegetasi. Constructed wetland pada dasarnya diciptakan untuk menghilangkan polutan, untuk meningkatkan keindahan pemandangan dan untuk memastikan ketersediaan air untuk digunakan kembali sebagai keuntungan tambahan. Sebuah constructed wetland umumnya terdiri dari zona inlet, zona vegetasi sebagai areal utama dari wetland, dan saluran bypass. Zona inlet berupa kolam sedimentasi yang relatif dalam, terletak di bagian hulu dan umumnya digunakan untuk *pre-treatment* untuk sedimen kasar dan *gross pollutants*. Zona vegetasi sebagai bagian utama dari sistem wetland memiliki tubuh air yang dangkal yang padat dengan vegetasi. Constructed wetland mengurangi volume dan debit puncak runoff melalui infiltrasi, evaporasi dan retensi. Constructed wetland adalah komponen treatment air hujan yang efisien, khususnya untuk runoff yang mengandung polutan terlarut berkonsentrasi tinggi yang sulit dihilangkan oleh komponen treatment air hujan yang lain.

## **BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

### **3.1 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk membantu *stakeholders* yaitu para pengembang dan pemerintah Kota Manado dalam membangun infrastruktur perkotaan dengan model pembangunan perkotaan yang modern dan berwawasan lingkungan. Bantuan yang dimaksud adalah perencanaan sistem drainase yang berwawasan lingkungan dengan menggunakan konsep WSUD, yang dapat diaplikasikan pada areal/kawasan pembangunan baru, baik areal/kawasan bisnis/komersil maupun areal/kawasan pemukiman.

### **3.2 Manfaat/Urgensi Penelitian**

Pembangunan memerlukan ruang yang berakibat pada berubahnya fungsi lahan. Jika pembangunan tidak disertai perencanaan dan kajian-kajian yang matang, maka konsekuensinya terjadi penurunan kualitas lingkungan hidup. Pembangunan yang membabi buta yang tidak memperhatikan aspek berkelanjutan dan tidak memperhatikan dampak lingkungan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang tidak hanya mahal harganya, tetapi juga tidak bisa dikembalikan (*irreversible*), karena itu hal ini tidak bisa terus dibiarkan terjadi. Dukungan para ahli untuk membantu pemerintah dan masyarakat dalam menyiapkan rencana pembangunan infrastruktur perkotaan yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan dapat membuahkan hasil pembangunan dengan resiko kerusakan lingkungan sekecil mungkin. Karena itu penelitian ini difokuskan untuk menghasilkan karya desain infrastruktur yang mempertahankan kualitas lingkungan hidup. Hasil penelitian ini akan menjadi model pembangunan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan khususnya pembangunan infrastruktur drainase.

### **3.3 Hasil yang Ditargetkan dan Kontribusi Terhadap Ilmu Pengetahuan**

Hasil nyata berupa produk desain yang langsung dapat dimanfaatkan oleh para stakeholders, dalam hal ini adalah Pemerintah Kota Manado dan para pengembang real estate, yang dibagi dalam dua tahun yaitu luaran berupa Pra-desain Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan berdasarkan konsep WSUD pada tahun pertama, dan Detail Desain Lengkap Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan berdasarkan konsep WSUD pada tahun kedua.

Penelitian ini merupakan studi kasus yang diterapkan di Kota Manado. Disamping luaran berupa produk desain teknologi yang bermanfaat langsung bagi masyarakat, penelitian ini

juga dapat menjadi model untuk diterapkan di berbagai kota di Indonesia yang secara spesifik beriklim tropis, bahkan juga untuk kota-kota di dunia yang memiliki karakteristik yang sama dengan Kota Manado. Luaran yang akan dihasilkan, tidak hanya berupa produk desain, tetapi juga aspek ilmiah bagaimana konsep yang berhasil diterapkan di wilayah beriklim sub-tropis migrasi ke wilayah beriklim tropis. Kajian aspek ilmiah ini diharapkan dapat memerikan *outcome* yang memiliki kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan.

## **BAB 4. METODE PENELITIAN**

### **4.1 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian adalah areal/kawasan pembangunan baru (new development area) yang terletak di Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Areal/kawasan pembangunan dimaksud adalah adalah areal/kawasan bisnis/komersial dan areal/kawasan pemukiman. Jika jumlah kawasan pembangunan baru yang ada di Kota Manado terbatas maka lokasi penelitian dapat diperluas pada kawasan pembangunan baru di seputaran Kota Manado. Pemilihan lokasi secara spesifik akan ditentukan setelah survey lapangan awal selesai. Lokasi yang dipilih adalah areal/kawasan dimana ada pembangunan baru oleh pengembang.

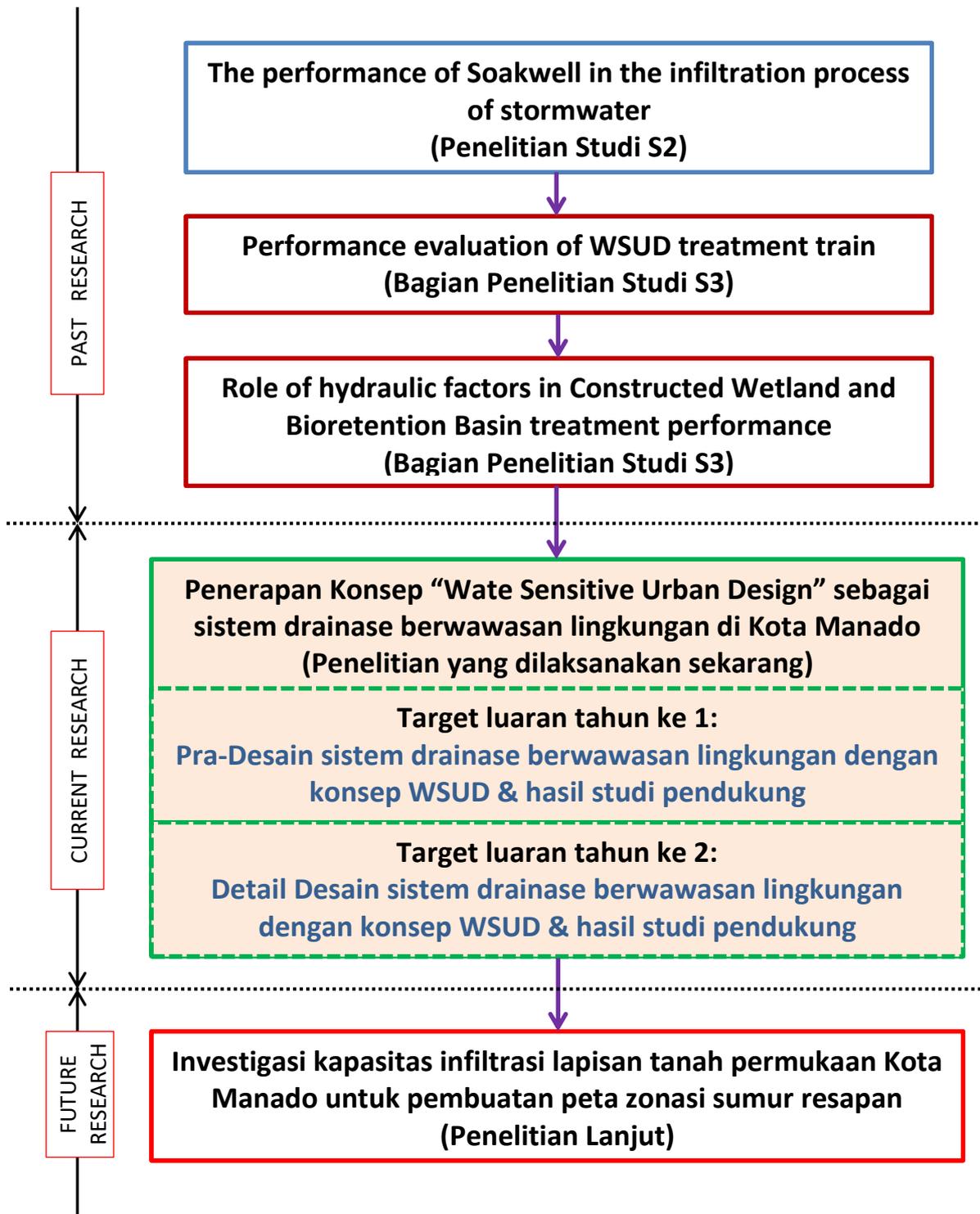
### **4.2 Peta Jalan (Road Map)**

Penelitian ini berhubungan erat dengan penelitian yang sudah dilaksanakan selama masa studi S2 di Curtin University Australia dan penelitian selama masa study S3 di Queensland University of Technology. Penelitian ini bersifat terapan, mengaplikasikan konsep yang sudah diteliti selama masa studi S3 ke dalam bentuk perencanaan yang konkrit, untuk menghasilkan produk teknologi berupa desain infrastruktur Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan di Kota Manado. Penelitian ini direncanakan akan berlangsung selama dua tahun, dengan demikian tahapan penelitian juga dibagi setiap tahun. Setiap tahap (setiap tahun), penelitian ini menghasilkan luaran yang konkrit, berupa desain produk teknologi dilengkapi dengan konsep-konsep pendukung.

Untuk menjaga kelanjutan penelitian pada topik ini terus berlangsung, maka road map penelitian telah dibuat untuk dijadikan pedoman pada masa datang. Setelah penelitian ini selesai dalam kurun waktu 2 (dua) tahun, maka penelitian pada topik ini akan dilanjutkan dengan fokus yang berbeda. Jika dalam penelitian ini tinjauan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan menggunakan Konsep Water Sensitive Urban Design (WSUD) secara global keseluruhan, maka pada masa datang setelah penelitian ini selesai, penelitian akan dilanjutkan dengan berkonsentrasi pada masing-masing komponen struktur WSUD.

Komponen struktur WSUD yang akan dipilih untuk menjadi fokus pada lanjutan penelitian adalah soakwell/sumur resapan. Komponen ini dipilih karena komponen ini pernah diteliti aspek hidrolisnya selama masa studi S2 di Curtin University, Australia. Alasan lain dipilihnya komponen ini untuk dijadikan studi lanjutan adalah karena komponen WSUD ini saat ini

telah menjadi populer di Indonesia. Banyak soakwell/sumur resapan yang telah dibuat, bahkan di beberapa kota di Indonesia, sumur resapan ini telah diadakan dalam jumlah yang besar. Untuk jelasnya, peta jalan (road map) penelitian ini serta hubungannya dengan penelitian-penelitian yang telah ada serta rencana penelitian yang akan dilanjutkan diberikan pada diagram berikut ini:



Gambar 1: Peta Jalan (Road Map) Penelitian

### 4.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini yang diusulkan dalam durasi selama 2 (dua) tahun dilaksanakan menurut tahap-tahap penelitian yang disusun secara berurutan sebagai berikut:

#### A. Tahap pelaksanaan penelitian tahun ke 1:

- 1) Pemantapan desain dan kerangka pelaksanaan penelitian. Output dari tahapan ini adalah diperolehnya rencana kerja yang jelas disesuaikan dengan waktu pelaksanaan.
- 2) Survey institusional, untuk mengetahui kawasan-kawasan pembangunan baru berijin yang dapat dijadikan lokasi penelitian. Pada tahap ini akan dihasilkan daftar list kawasan-kawasan pembangunan baru dan data-data termasuk alamat para pengembangnya.
- 3) Survey institusional pada kantor-kantor para pengembang kawasan pembangunan baru, untuk mendapatkan informasi mengenai penataan lay-out, peta-peta dan rencana-rencana pengembangan kawasan mereka.
- 4) Survey lapangan awal, untuk mengetahui kondisi lapangan dari kawasan-kawasan pembangunan baru berijin serta prediksi kemungkinan penerapan sistem drainase berwawasan lingkungan. Survey ini menghasilkan hasil pengamatan visual berdasarkan lay-out, peta-peta/gambar-gambar dan rencana-rencana pengembangan kawasan. Konfirmasi dimensi dan ukuran-ukuran juga akan diperoleh dalam survey lapangan awal ini.
- 5) Penetapan kawasan-kawasan pembangunan baru yang akan dijadikan objek atau lokasi penelitian, yang dituangkan dalam daftar objek penelitian.
- 6) Survey institusional, untuk mendapatkan data sekunder berupa:
  - Kondisi daerah tangkapan hujan (catchment area) untuk tiap-tiap lokasi kawasan pembangunan baru, terutama kondisi lapisan tanah permukaan.
  - Peta topografi dari tiap kawasan pembangunan baru yang dipilih
  - Data curah hujan, diharapkan bisa diperoleh data curah hujan per menit oleh alat pengukur hujan otomatis dari stasiun-stasiun pengamatan hujan yang ada.
- 7) Penetapan sementara komponen-komponen struktur WSUD yang dapat diaplikasikan pada setiap lokasi/kawasan pembangunan baru.
- 8) Kajian dan analisa kesesuaian setiap komponen struktur WSUD yang ditetapkan dengan unsur-unsur lain dari model pembangunan perkotaan (urban development) yang berwawasan lingkungan dan berkesinambungan.

- 9) Analisa hidrologi, untuk mendapatkan debit banjir rencana dari tiap catchment struktur WSUD yang direncanakan.
- 10) Analisa perkiraan laju kecepatan infiltrasi pada titik-titik dimana komponen struktur WSUD akan diletakkan berdasarkan kondisi lapisan tanah permukaan.
- 11) Analisa hidrolika dari setiap komponen struktur WSUD yang direncanakan untuk menghasilkan parameter-parameter hidrolika yang diperlukan dalam analisa selanjutnya.
- 12) Penetapan dimensi setiap komponen struktur WSUD yang direncanakan. Dimensi dari komponen-komponen struktur WSUD yang dihasilkan ini merupakan luaran Pra-desain sistem drainase berwawasan lingkungan yang diusulkan.
- 13) Perhitungan estimasi biaya dari setiap komponen struktur WSUD yang diusulkan.

#### **B. Tahap pelaksanaan penelitian tahun ke 2:**

- 1) Survey dan konsultasi dengan para pengembang untuk secara bersama-sama memutuskan komponen struktur WSUD mana yang akan dibuatkan detail desainnya.
- 2) Survey pengukuran topografi dan pemetaan secara detail untuk memperoleh tata letak komponen struktur yang akan didetail desainkan.
- 3) Evaluasi dan hitung ulang analisa hidrologi disesuaikan dengan data hidrologi dan klimatologi terbaru untuk menetapkan debit rencana dari tiap catchment struktur WSUD yang direncanakan.
- 4) Analisa hidrolika untuk mendapatkan dimensi dari desain komponen struktur WSUD *Swale System*.
- 5) Pembelian software untuk menghitung dimensi komponen struktur WSUD *Infiltration System*.
- 6) Penetapan lokasi dan jumlah tes pit, dilanjutkan dengan pelaksanaan pembuatan test pit berukuran 1 meter x 2 meter dengan kedalaman 1,5 meter, untuk melakukan pengujian kapasitas laju infiltrasi.
- 7) Pelaksanaan pengujian laju infiltrasi pada test pit yang telah dibuat dengan menggunakan water truck.
- 8) Analisa hidrolika, untuk mendapatkan dimensi komponen struktur WSUD *Swale System* berdasarkan debit rencana yang dihitung dalam analisa hidrologi.
- 9) Running software untuk menghitung dimensi komponen struktur WSUD *Infiltration System*, berdasarkan data hasil pengujian laju infiltrasi pada test pit-test pit.

- 10) Simulasi dan modelling untuk mendapatkan dimensi komponen struktur WSUD *Retention Basin, Bioretention Basin dan Constructed Wetland*
- 11) Finalisasi desain komponen-komponen struktur WSUD yang sudah didimensi untuk dibuatkan Detail Desainnya.
- 12) Pembuatan Detail Desain Lengkap Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan berdasarkan konsep WSUD.
- 13) Penggambaran Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan yang didetail desainkan
- 14) Pembuatan spesifikasi teknik dari struktur WSUD yang direncanakan
- 15) Pembuatan metodologi pelaksanaan pekerjaan
- 16) Pembuatan rencana anggaran biaya
- 17) Pembuatan manual operasi dan pemeliharaan
- 18) Membuat kajian lingkungan terhadap rencana pembangunan sistem drainase berwawasan lingkungan yang dihasilkan, dimulai dari perioda pra konstruksi, pelaksanaan konstruksi dan perioda pasca konstruksi
- 19) Melakukan kajian komponen-komponen paralel lain dalam model pembangunan perkotaan yang berwawasan lingkungan dan berkesinambungan (sustainable urban development)

#### **4.4 Luaran**

Output/luaran yang dihasilkan dalam penelitian ini yang dibagi menjadi dua tahap pelaksanaan adalah sebagai berikut:

##### **Luaran pada akhir tahun pertama:**

- (1) Pra-desain Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan berdasarkan konsep WSUD, yang dituangkan dalam:
  - Gambar-gambar pra-desain
  - Estimasi biaya setiap komponen struktur WSUD yang diusulkan
- (2) Hasil analisa hidrologi
- (3) Hasil analisa hidrolika
- (4) Hasil kajian terhadap kesesuaian dengan model pembangunan perkotaan (urban development) yang berwawasan lingkungan dan berkesinambungan.
- (5) Makalah yang dipresentasikan pada salah satu konferensi nasional atau internasional.
- (6) Artikel yang dipublikasikan pada salah satu jurnal nasional/ internasional atau sebagai book chapter yang dipublikasikan secara nasional/ internasional.

**Luaran pada akhir tahun kedua:**

- (1) Detail Desain Lengkap Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan berdasarkan konsep WSUD, yang terdiri dari
  - Gambar-gambar desain lengkap
  - Spesifikasi teknis dari setiap komponen yang direncanakan
  - Metodologi pelaksanaan pekerjaan
  - Rencana anggaran biaya
  - Manual operasi dan pemeliharaan
- (2) Hasil evaluasi dan justifikasi hasil analisa hidrologi dan hidrolika
- (3) Hasil kajian lingkungan terhadap rencana pembangunan sistem drainase berwawasan lingkungan yang dihasilkan, dimulai dari perioda pra konstruksi, pelaksanaan konstruksi dan perioda pasca konstruksi
- (4) Rekomendasi komponen-komponen paralel lain dalam model pembangunan perkotaan yang berwawasan lingkungan dan berkesinambungan (sustainable urban development)
- (5) Makalah yang dipresentasikan pada salah satu konferensi nasional atau internasional
- (6) Artikel yang dipublikasikan pada salah satu jurnal nasional/ internasional.

## **BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI**

### **5.1 Pemilihan Obyek Penelitian**

Obyek penelitian sebagaimana disebutkan dalam tujuan penelitian adalah areal/kawasan pembangunan baru, baik areal/kawasan bisnis/komersil maupun areal/kawasan pemukiman. Dalam hal ini telah dilakukan survey terhadap beberapa kawasan pembangunan (development area) dan telah dilakukan evaluasi terhadap kesediaan fasilitas pembangunan sehingga dapat ditentukan apakah lokasi pembangunan tersebut dapat dijadikan obyek penelitian atau tidak. Penentuan tersebut secara garis besar didasarkan pada:

- Kesesuaian lahan yang tersedia untuk diaplikasikannya komponen-komponen WSUD
- Ketersediaan lahan untuk pembangunan komponen-komponen WSUD
- Kondisi topografi dan geologi
- Gambaran visual kemungkinan kondisi dan situasi lokasi setelah dibuatkannya komponen-komponen WSUD
- Perkiraan dampak lingkungan yang mungkin terjadi setelah dilakukan pemaungan komponen-komponen WSUD ini, baik dampak negatif maupun dampak positif.
- Ketersediaan kerja sama dari developer
- Ketersediaan data-data pendukung dari pengembang, seperti gambar-gambar lay out plan dan sebagainya
- Ketersediaan data-data pendukung dari instansi-instansi terkait

Penentuan obyek berdasarkan pedoman dan acuan menurut kriteria-kriteria di atas merupakan hal mendasar yang perlu dipertimbangkan. Namun demikian faktor-faktor lain juga dapat mempengaruhi penetapan ini seperti misalnya kemudahan akses ke lokasi obyek yang direncanakan.

Sejauh ini telah dilakukan survey dan investigasi terhadap lokasi-lokasi pembangunan, baik untuk kawasan pemukiman maupun untuk kawasan bisnis, dan berdasarkan hasil kajian awal, telah ditetapkan kawasan-kawasan pembangunan yang akan dievaluasi untuk selanjutnya akan diuji berdasarkan parameter-parameter yang disebutkan pada halaman sebelum ini untuk ditetapkan sebagai obyek penelitian. Lokasi-lokasi pengembangan yang akan dievaluasi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Citra Land
2. Paramount Hill
3. Grand Meridian
4. Malendeng Residence
5. Grand Kawanua
6. Green Hill Residence
7. Taman Sari Metropolitan
8. Holland Village
9. Griya Paniki Indah

Dari masing-masing lokasi pembangunan tersebut telah ditetapkan beberapa komponen Water Sensitive Urban Design (WSUD) untuk diaplikasikan. Komponen-komponen WSUD tersebut ditetapkan berdasarkan kriteria-kriteria yang sudah diuraikan pada bagian sebelum ini. Suatu hal atau kondisi saat ini yang sangat menggembirakan bahwa semua lokasi pembanguna tersebut di atas telah mengaplikasikan satu komponen WSUD yaitu Modular Pavement, yang merupakan salah satu bentuk dari infiltration system dalam konsep WSUD untuk jalan masuk (akses) dan seluruh jalan lingkungan di dalam lokasi pembangunan tersebut. Modular Pavement, atau yang lebih dikenal disini sebagai Paving Block atau Paving Stone merupakan sistem infiltrasi dalam WSUD yang secara signifikan dapat mengurangi volume aliran permukaan (runoff). Sebagaimana diketahui bahwa jalan, drive way, parking area dan prasarana transportasi didalam suatu kawasan pembangunan memanfaatkan lahan dapat mencapai 70% dari total luas lahan yang tersedia. Dengan dibuatkannya sistem infiltrasi Modular Pavement pada prasarana transportasi ini, tidak hanya mengurangi volume air hujan yang menjadi aliran permukaan (runoff) secara signifikan – yang berarti

mengurangi resiko banjir yang disebabkan oleh runoff lokal serta membantu proses pengisian air tanah – tetapi juga mendukung proses pemurnian air hujan (stormwater treatment) melalui proses infiltrasi air hujan ini.

### **5.1.1 Penetapan Obyek dan Variabel Evaluasi**

Sebagaimana diuraikan di atas bahwa penetapan lokasi pengembangan untuk ditetapkan sebagai obyek penelitian adalah berdasarkan kriteria-kriteria yang diuraikan pada Sub Bab 5.1. Karena terdapat beberapa kriteria atau beberapa variabel yang diukur, maka analisis ini dilakukan dengan analisis statistik multivariable, dengan memberi nilai pada setiap kriteria/variabel tersebut. Karena penetapan dilakukan dengan cara membuat ranking skala prioritas, dimana prioritas terbaik diberikan pada lokasi pengembangan yang memiliki nilai tertinggi, diikuti oleh nilai kedua tertinggi, dan seterusnya. Teknik analisa ini selanjutnya lebih dikenal dengan Multi Criteria Decision Making (MCDM). Untuk keperluan analisa ini, 9 lokasi pengembangan di atas ditetapkan sebagai variable terikat, yaitu yang akan diuji tingkat prioritas atau nilai rankingnya.

Kesembilan lokasi pengembangan selanjutnya dibuatkan ID variabel terikatnya atau disebut Obyek ID, yang dapat disajikan sebagai berikut:

- |                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| 1. Citra Land,             | Obyek ID: <b>CL</b>  |
| 2. Paramount Hill          | Obyek ID: <b>PH</b>  |
| 3. Grand Meridian          | Obyek ID: <b>GM</b>  |
| 4. Malendeng Residence     | Obyek ID: <b>MR</b>  |
| 5. Grand Kawanua           | Obyek ID: <b>GK</b>  |
| 6. Green Hill Residence    | Obyek ID: <b>GHR</b> |
| 7. Taman Sari Metropolitan | Obyek ID: <b>TSM</b> |
| 8. Holland Village         | Obyek ID: <b>HV</b>  |
| 9. Griya Paniki Indah      | Obyek ID: <b>GPI</b> |

Asumsi yang digunakan bahwa setiap kriteria memiliki kepentingan yang sama yang berarti diberi bobot skala yang ekuivalen mulai dari 1 sampai 5, dimana bobot 1 sampai 5 memiliki arti sebagai berikut:

Bobot 1: Sangat tidak sesuai, sangat tidak tersedia, dan sangat berdampak

Bobot 2: Tidak sesuai, tidak tersedia, berdampak

Bobot 3: Kurang sesuai, kurang tersedia, kurang berdampak

Bobot 4: Sesuai, tersedia, tidak berdampak

Bobot 5: Sangat sesuai, sangat tersedia, sangat tidak berdampak

### 5.1.2 Matriks Evaluasi

Evaluasi dengan menggunakan teknik Multi Criteria Decision Making, agar lebih sederhana dituangkan dalam bentuk matriks sebagai berikut.

**Tabel 1: Matriks Analisa MCDM**

Kriteria	Obyek ID								
	CL	PH	GM	MR	GK	GHR	TSM	HV	GPI
- Kesesuaian lahan yang tersedia untuk diaplikasikannya komponen-komponen WSUD	5	4	5	4	5	3	5	4	3
- Ketersediaan lahan untuk pembangunan komponen-komponen WSUD	5	4	4	3	4	3	4	4	4
- Kondisi topografi dan geologi	4	4	4	4	5	3	5	4	5
- Gambaran visual kemungkinan kondisi dan situasi lokasi setelah dibuatkannya komponen-komponen WSUD	5	5	5	3	5	3	4	4	4
- Perkiraan dampak lingkungan yang mungkin terjadi setelah dilakukan pembaungan komponen-komponen WSUD ini, yaitu dampak negatifnya	4	4	5	3	4	4	4	3	3
- Kesiediaan kerja sama dari developer	4	3	4	4	5	3	4	2	5
- Ketersediaan data-data pendukung dari pengembang, seperti gambar-gambar lay out plan dan sebagainya	4	3	4	3	5	4	4	2	4
- Ketersediaan data-data pendukung dari instansi-instansi terkait	5	3	4	3	4	3	4	3	4
<b>Total Skor</b>	<b>36</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>27</b>	<b>37</b>	<b>26</b>	<b>34</b>	<b>26</b>	<b>32</b>

Analisa dengan menggunakan Multi Criteria Decision Making (MCDM) memberikan hasil ranking dari masing-masing pengembang, dimana skala prioritas kemudian nanti diurutkan berdasarkan jumlah skor yang terbanyak. Itu berarti jumlah skor yang lebih besar menggambarkan kondisi yang lebih sesuai untuk penerapan konsep WSUD ini karena nilai skor yang lebih besar menunjukkan kondisi yang lebih baik dan lebih sesuai.

Dari hasil analisa dengan menggunakan teknik MCDM ini, maka urutan skala prioritas berdasarkan ranking terbaik diberikan dalam susunan pada tabel berikut ini.

**Tabel 2: Penetapan Obyek Berdasarkan Urutan Ranking**

<b>Nama Pengembang</b>	<b>Ranking</b>	<b>Nilai</b>	<b>Bobot (%)</b>
Grand Kawanua (GK)	1	37	92,5
Citra Land (CL)	2	36	90
Grand Meridian	3	35	87,5
Taman Sari Metropolitan (TSM)	4	34	85
Griya Paniki Indah (GPI)	5	32	80
Paramount Hill (PH)	6	30	75
Malendeng Residence (MR)	7	27	67,5
Green Hill Residence (GHR)	8	26	65
Holland Village (HV)	9	26	65

Hasil analisa pada Tabel 2 menunjukkan bahwa dari 8 (delapan) kriteria yang dievaluasi, Grand Kawanua (GK) memiliki bobot kesesuaian terbesar yaitu sebesar 92,5%, sedangkan terkecil yaitu sebesar 65% adalah milik dari Green Hill Residence (GHR) dan Holland Village (HV). Perlu digaris bawahi bahwa dalam analisa ini hanya dilakukan terhadap 9 (sembilan) lokasi pengembang, tetapi terdapat beberapa lokasi pengembangan di Kota Manado yang tidak dimasukkan, karena berdasarkan observasi lapangan, lokasi-lokasi tersebut secara kasat mata dapat diperkirakan akan memiliki bobot kesesuaian yang sangat kecil. Penelitian ini dibatasi untuk difokuskan hanya pada 5 (lima) lokasi pengembang menurut 5 ranking terbaik pada Tabel 2. Meskipun demikian, mengingat keterbatasan dana

dan waktu, follow up perencanaan desain dilakukan satu persatu pengembang, yang dimulai dari lokasi pengembang dengan ranking terbaik.

Setelah ditetapkan, perencanaan desain dimulai, dengan memilih komponen WSUD yang tepat untuk masing-masing lokasi pengembang. Untuk menunjang perencanaan desain ini, maka dibutuhkan berbagai macam analisa, termasuk analisa hidrologi, hidrolika dan pemodelan hidrolika. Semua ini dibutuhkan untuk menetapkan dimensi dari komponen-komponen WSUD yang akan diaplikasikan.

## **5.2 Analisa Hidrologi**

Analisa Hidrologi adalah pekerjaan utama dalam penelitian ini. Analisa hidrologi dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan curah hujan rencana berupa curah hujan harian maksimum untuk kala ulang yang berbeda-beda, dilanjutkan dengan perhitungan dan pembuatan hidrograf runoff untuk dilanjutnya dengan pemodelan hidrolika dan penetapan bentuk dan dimensi constructed wetland (rawa buatan) yang sesuai dengan kondisi hujan di wilayah Manado. Secara umum pembahasan analisa hidrologi adalah melakukan analisa hidroklimatologi dengan teknis analisa secara kuantitatif yang mengacu pada berbagai metode yang relevan dengan Standar Nasional Indonesia yang berlaku. Dengan memperhatikan berbagai karakteristik geografis yang terkait, diharapkan dapat diperoleh informasi berupa besaran hidrologi yang diperlukan untuk pekerjaan penelitian ini. Analisa data ini dimaksudkan untuk mendukung pekerjaan Analisa Hidrologi dalam menentukan curah hujan rencana, hidrograf debit runoff pada rencana constructed wetland (rawa buatan). Lingkup pekerjaan analisa hidrologi meliputi analisa data outlier, analisa hujan rancangan, perhitungan hidrograf runoff dan pada debit banjir rancangan. Hasil akhir dari analisa hidrologi ini adalah besaran debit banjir rancangan dengan berbagai periode ulang. Dalam perencanaan bangunan di tepi sungai, analisis hidrologi merupakan faktor penting untuk menentukan banjir rencana. Banjir rencana dimaksudkan untuk menentukan besaran banjir yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan bangunan di tepi sungai. Banjir rencana ditetapkan melalui analisis hidrologi dari sungai atau Daerah Pengaliran Sungai (DPS) dimana bangunan tersebut akan dibangun, dengan periode ulang tertentu sesuai dengan kriteria desain yang digunakan.

Data yang di kumpulkan ini diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Manado untuk stasiun klimatologi Kayuwatu Manado selama 10 tahun terakhir pengamatan (tahun 2006 s/d 2015) diperlihatkan pada Tabel 1.

**Tabel 3. Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Klimatologi Kayuwatu**

No.	Tahun	X	Rangking X
		(mm)	(mm)
1	2006	38,30	38,30
2	2007	74,00	50,30
3	2008	108,00	57,00
4	2009	70,00	70,00
5	2010	50,30	74,00
6	2011	76,10	76,10
7	2012	57,00	80,60
8	2013	90,20	90,20
9	2014	80,60	108,00
10	2015	170,00	170,00
Jumlah		814,50	814,50

*Sumber: Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Manado*

### 5.2.1 Uji Data Hujan Outlier

Sebelum data curah hujan dianalisa untuk mendapatkan curah hujan rancangan, terlebih dahulu dilakukan uji data outlier, untuk mengetahui apakah ada data curah hujan yang ekstrim karena kelalaian dalam pencatatan atau terjadi kondisi ekstrim. Uji data outlier ini dilakukan untuk data outlier tinggi dan data outlier rendah dengan syarat-syarat pengujian berdasarkan koefisien skewness ( $C_{S_{Log}}$ ):

- Uji outlier tinggi terlebih dahulu jika  $C_{S_{Log}} > 0.4$
- Uji outlier rendah terlebih dahulu jika  $C_{S_{Log}} < -0.4$
- Uji outlier tinggi dan rendah sekaligus jika  $-0.4 \leq C_{S_{Log}} \leq 0.4$

Perhitungan data outlier selanjutnya dilakukan dengan menggunakan Tabel 2.

Dari Tabel 2 diketahui  $X_i \text{ min} = 38.30$   
 $X_i \text{ max} = 170.00$

$$S_{Log} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^2}{n - 1}}$$

$$S_{Log} = 0.1793$$

**Tabel 4. Perhitungan Outlier Data Hujan Stasiun Kayuwatu**

No.	Tahun	$X_i$ (mm)	Log $X_i$	$(\log X_i - \overline{\log X})$	$(\log X_i - \overline{\log X})^2$	$(\log X_i - \overline{\log X})^3$
1	2006	38,30	1,5832	-0,2930	0,0858	-0,0251
2	2007	74,00	1,8692	-0,0069	0,0000	0,0000
3	2008	108,00	2,0334	0,1572	0,0247	0,0039
4	2009	70,00	1,8451	-0,0311	0,0010	0,0000
5	2010	50,30	1,7016	-0,1746	0,0305	-0,0053
6	2011	76,10	1,8814	0,0052	0,0000	0,0000
7	2012	57,00	1,7559	-0,1203	0,0145	-0,0017
8	2013	<b>90,20</b>	1,9552	0,0790	0,0062	0,0005
9	2014	<b>80,60</b>	1,9063	0,0302	0,0009	0,0000
10	2015	170,00	2,2304	0,3543	0,1255	0,0445
Jumlah		814,50	18,7618	0,0000	0,2892	0,0166
Mean ( $\log X$ )			1,8762			

$$CS_{Log} = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)S_{Log}^3}$$

$$CS_{Log} = 0.4009$$

**∴ Karena  $CS_{Log} > 0.4$  maka uji outlier tinggi terlebih dahulu**

Uji outlier tinggi:

$$\log X_h = \overline{\log X} + (S_{Log} \times K_n)$$

$$\text{Untuk } n=10 \rightarrow K_n = 2.036 \Rightarrow \log X_h = 1.8762 + (0.1793 \times 2.036) = 2.2412$$

$$X_h = 174.2464 \text{ mm}$$

**∴ Karena  $X_i \text{ max} < X_h$  ( $170.00 < 174.2464$ ) maka tidak ada data outlier tinggi**

Uji outlier rendah:

$$\log X_l = \overline{\log X} - (S_{Log} \times K_n)$$

$$\text{Untuk } n=10 \rightarrow K_n = 2.036 \Rightarrow \log X_l = 1.8762 - (0.1793 \times 2.036) = 1.5112$$

$$X_l = 32.45 \text{ mm}$$

**∴ Karena  $X_i \text{ min} > X_l$  ( $38.30 > 32.45$ ) maka tidak ada data outlier rendah**

### 5.2.2 Analisis Curah Hujan Rancangan

Tujuan dari analisis frekuensi curah hujan ini adalah untuk memperoleh curah hujan rancangan untuk beberapa periode ulang menurut beberapa jenis distribusi. Dari berbagai sebaran distribusi yang ada, berdasarkan hasil berbagai studi terdahulu yang pernah dilakukan, maka jenis sebaran distribusi yang cocok untuk daerah Sulawesi Utara adalah:

- a. Distribusi Gumbel Tipe I
- b. Distribusi Log Normal 2 Parameter
- c. Distribusi Log Pearson Type III

Jenis distribusi yang nantinya dipakai harus ditentukan dengan melihat karakteristik distribusi hujan daerah setempat. Periode ulang yang akan dihitung pada masing-masing jenis distribusi adalah untuk periode ulang 2, 5, 10, 20, 25, 50, dan 100 tahun.

#### 1. Distribusi Gumbel Tipe I

Persamaan empiris untuk distribusi Gumbel Tipe I sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + (S \times K)$$

Keterangan:

$X_T$  = Nilai yang diharapkan terjadi untuk kala ulang tertentu (mm)

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata hitung X (mm)

$K$  = Faktor frekuensi yang dihitung dengan  $K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$

$Y_T$  = Reduced mean atau nilai reduksi data dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode T, dihitung dengan  $Y_T = -L_n \left\{ -L_n \left[ \frac{T(x)-1}{T(x)} \right] \right\}$

$Y_n$  = Reduksi nilai rata-rata data, untuk n=10 maka  $Y_n = 0.4952$

$S_n$  = Reduksi standard deviasi; untuk n=10,  $S_n = 0.9496$

$S$  = Simpangan baku, dihitung dengan  $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$

n = Jumlah data

Hasil perhitungan distribusi Gumbel tipe 1 diberikan pada Tabel 5 berikut ini.

**Tabel 5. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Menggunakan Distribusi Gumbel Tipe I**

T	$Y_T$	Sd	$Y_n$	$S_n$	K	X (mm)
2	0.3665	36.9212	0.4952	0.9496	-0.1355	76.4465
5	1.4999	36.9212	0.4952	0.9496	1.0581	120.5151
10	2.2504	36.9212	0.4952	0.9496	1.8483	149.6923
20	2.9702	36.9212	0.4952	0.9496	2.6064	177.6797
25	3.1985	36.9212	0.4952	0.9496	2.8468	186.5577
50	3.9019	36.9212	0.4952	0.9496	3.5876	213.9066
100	4.6001	36.9212	0.4952	0.9496	4.3228	241.0536

Sumber: Hasil Perhitungan

## 2. Distribusi Log Normal 2 Parameter

Distribusi Log-normal dua parameter mempunyai persamaan transformasi sebagai berikut:

$$\text{Log } X_t = \overline{\text{Log } X} + (k \cdot S \text{Log } X)$$

Keterangan,

$X_t$  = Besarnya curah hujan dengan periode t (mm)

$\overline{\text{Log } X}$  = Rata-rata nilai logaritma data X hasil pengamatan (mm)

S Log = Standar Deviasi nilai logaritma data X hasil pengamatan

$$= \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\text{Log } X_t - \overline{\text{Log } X})^2}{n - 1}}$$

K = faktor frekuensi, sebagai fungsi dari koefisien variansi (cv) dengan periode ulang t. Nilai k dapat diperoleh dari tabel yang merupakan fungsi peluang kumulatif dan periode ulang.

$C_s$  = koefisien kemencengan =  $3 CV + CV^3$

$C_K$  = koefisien kurtosis  
 $= C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$

$C_v$  = koefisien variasi =  $\frac{\sigma}{\mu}$

$\sigma$  = deviasi standar populasi Ln X atau log X

$\mu$  = rata-rata hitung populasi Ln X atau log X

**Tabel 6. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Menggunakan Distribusi Log Normal Dua Parameter**

<b>T</b>	<b>P</b>	<b>k</b>	<b>Log X</b>	<b>X (mm)</b>
2	0.5000	-0.0474	1.8677	73.7357
5	0.2000	0.8232	2.0237	105.6206
10	0.1000	1.3068	2.1104	128.9560
20	0.0500	1.7213	2.1847	153.0190
25	0.0400	1.8021	2.1992	158.2075
50	0.0200	2.2060	2.2716	186.9110
100	0.0100	2.5407	2.3316	214.6066

*Sumber: Hasil Perhitungan*

### 3. Distribusi Log Pearson Tipe III

Distribusi Log Pearson Tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson Tipe III dengan menggantikan data menjadi nilai logaritmik. Persamaan distribusi Log Pearson Tipe III dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{Log } X_t = \overline{\text{Log } X} + (G \times S)$$

Keterangan:

$X_t$  = Besarnya curah hujan dengan periode t (mm)

$\overline{\text{Log } X}$  = Rata-rata nilai logaritma data X hasil pengamatan (mm)

S = Standar Deviasi nilai logaritma data X hasil pengamatan

$$= \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\text{Log } X_t - \overline{\text{Log } X})^2}{n - 1}}$$

Cs = koefisien kepepcengan

$$= \frac{n \cdot \sum (\log X - \overline{\log X})^3}{(n - 1)(n - 2)(S \log X)^3}$$

Ck = koefisien kurtosis

$$= \frac{n^2 \cdot \sum (\log X - \overline{\log X})^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3)(S \log X)^4}$$

**Tabel 7. Curah Hujan Rancangan Dengan Distribusi Log Pearson Tipe III**

T	P(%)	Cs	G	Log X	X (mm)
2	50	0.4009	-0.0682	1.8640	73.1069
5	20	0.4009	0.8661	2.0314	107.5058
10	10	0.4009	1.3301	2.1146	130.2032
20	5	0.4009	1.7978	2.1985	157.9286
25	4	0.4009	1.8913	2.2152	164.1454
50	2	0.4009	2.2705	2.2832	191.9564
100	1	0.4009	2.6227	2.3463	221.9922

Sumber: Hasil Perhitungan

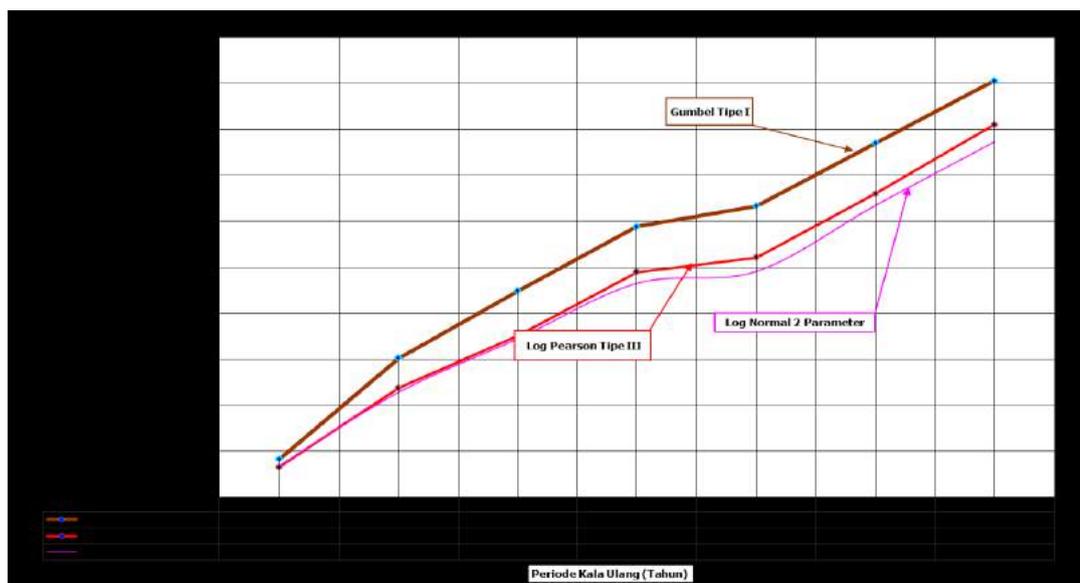
#### 4. Rekapitulasi Curah Hujan Rancangan Untuk Tiap Jenis Distribusi

Rekapitulasi hasil perhitungan curah hujan rancangan dari tiap-tiap distribusi di atas dituangkan dalam Tabel 6 dan Gambar 1. Dalam perencanaan selanjutnya diambil nilai maksimum dari ketiga distribusi tersebut.

**Tabel 8. Rekapitulasi Curah Hujan Rancangan Tiap Metode**

No	Kala Ulang	Distribusi Gumbel Tipe I	Distribusi Log Normal 2 Parameter	Distribusi Log Pearson Tipe III	Maksimum
1	2	76.447	73.736	73.107	76.447
2	5	120.515	105.621	107.506	120.515
3	10	149.692	128.956	130.203	149.692
4	20	177.680	153.019	157.929	177.680
5	25	186.558	158.207	164.145	186.558
6	50	213.907	186.911	191.956	213.907
7	100	241.054	214.607	221.992	241.054

Sumber: Hasil Perhitungan



**Gambar 2 : Hasil Analisis Perhitungan Curah Hujan Rancangan Harian**

### 5.3 Aplikasi Komponen WSUD pada Lokasi-lokasi Pengembangan

Evaluasi terhadap lokasi-lokasi pengembangan telah menghasilkan ditetapkannya 5 (lima) lokasi pengembangan untuk dilakukan perencanaan dimana komponen WSUD akan diaplikasikan pada lokasi-lokasi tersebut sebagai sistem drainase berwawasan lingkungan. Proses evaluasi dan penentuan obyek penelitian berdasarkan kriteria-kriteria yang mendukung secara detil telah diuraikan pada sub bab 5.1.

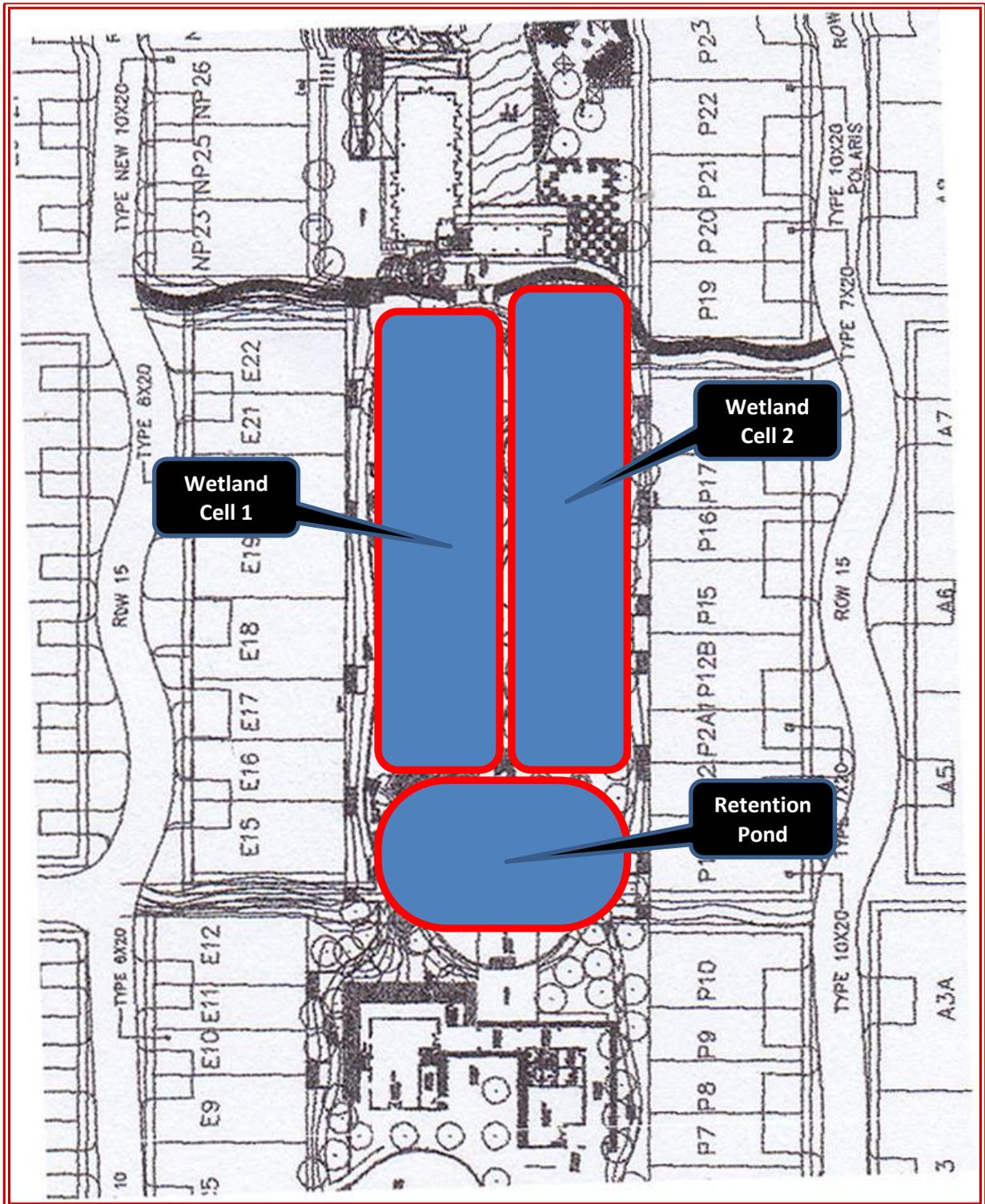
Setelah dilakukan evaluasi dan observasi lapangan, maka berdasarkan ketersediaan lahan, kecocokan fungsi dan kondisi topografi, hidrologi dan geologi permukaan (surface geology) ada beberapa komponen WSUD yang cocok dibuat untuk setiap lokasi pengembangan. Daftar komponen WSUD yang akan diaplikasikan untuk masing-masing lokasi pengembangan dituangkan pada Tabel 9 berikut ini:

**Tabel 9: Komponen WSUD untuk Masing-masing Lokasi Pengembangan**

Lokasi Pengembangan	Komponen WSUD
Grand Kawanua	Constructed Stormwater Wetland Detention Pond
Citra Land	Bioretention Swale Filter Strip
Grand Meridian	Bioretention Swale
Taman Sari Metropolitan	Detention Pond
Griya Paniki Indah	Detention Pond Infiltration System

Pada pelaksanaan kegiatan pengabdian Tahun I ini, komponen-komponen WSUD untuk masing-masing lokasi pengembangan pada tabel di atas telah dilakukan perencanaan berupa pra-desain. Pra-desain tersebut telah digambarkan, namun belum dihitung dimensi masing-masing komponen WSUD sesuai kebutuhan secara detail.

Gambar perencanaan pra-desain untuk lokasi pengembangan Grand Kawanua, yaitu berupa Constructed Stormwater Wetland (Rawa Air Hujan Buatan) diberikan pada Gambar 3.



**Gambar 3: Pra-desain Constructed Wetland di lokasi pengembangan Grand Kawanua**

#### 5.4 Kemajuan Pekerjaan yang Telah dicapai

Kemajuan pekerjaan yang telah dicapai sejauh ini telah mencapai 100 % untuk rencana tahun ini dan dapat dimonitor dari rencana tahapan pelaksanaan pekerjaan sebagaimana diuraikan pada sub-bab 4.3. Dari rencana tahapan pelaksanaan pekerjaan tersebut, maka pelaksanaan pekerjaan untuk kondisi sampai dengan saat ini adalah seperti pada tabel 9.

**Tabel 10: Progres Pekerjaan**

<b>Tahapan pelaksanaan pekerjaan</b>	<b>Progres yang telah dicapai</b>
1) Pemantapan desain dan kerangka pelaksanaan penelitian. Output dari tahapan ini adalah diperolehnya rencana kerja yang jelas disesuaikan dengan waktu pelaksanaan.	Selesai
2) Survey institusional, untuk mengetahui kawasan-kawasan pembangunan baru berijin yang dapat dijadikan lokasi penelitian. Pada tahap ini akan dihasilkan daftar list kawasan-kawasan pembangunan baru dan data-data termasuk alamat para pengembangnya.	Selesai
3) Survey institusional pada kantor-kantor para pengembang kawasan pembangunan baru, untuk mendapatkan informasi mengenai penataan lay-out, peta-peta dan rencana-rencana pengembangan kawasan mereka.	Selesai
4) Survey lapangan awal, untuk mengetahui kondisi lapangan dari kawasan-kawasan pembangunan baru berijin serta prediksi kemungkinan penerapan sistem drainase berwawasan lingkungan. Survey ini menghasilkan hasil pengamatan visual berdasarkan lay-out, peta-peta/gambar-gambar dan rencana-rencana pengembangan kawasan. Konfirmasi	Selesai

<p>dimensi dan ukuran-ukuran juga akan diperoleh dalam survey lapangan awal ini.</p> <p>5) Penetapan kawasan-kawasan pembangunan baru yang akan dijadikan objek atau lokasi penelitian, yang dituangkan dalam daftar objek penelitian.</p> <p>6) Survey institusional, untuk mendapatkan data sekunder berupa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kondisi daerah tangkapan hujan (catchment area) untuk tiap-tiap lokasi kawasan pembangunan baru, terutama kondisi lapisan tanah permukaan.</li> <li>- Peta topografi dari tiap kawasan pembangunan baru yang dipilih</li> <li>- Data curah hujan, diharapkan bisa diperoleh data curah hujan per menit oleh alat pengukur hujan otomatis dari stasiun-stasiun pengamatan hujan yang ada.</li> </ul> <p>7) Penetapan sementara komponen-komponen struktur WSUD yang dapat diaplikasikan pada setiap lokasi/kawasan pembangunan baru.</p> <p>8) Kajian dan analisa kesesuaian setiap komponen struktur WSUD yang ditetapkan dengan unsur-unsur lain dari model pembangunan perkotaan (urban development) yang berwawasan lingkungan dan berkesinambungan.</p> <p>9) Analisa hidrologi, untuk mendapatkan debit banjir rencana dari tiap catchment struktur WSUD yang direncanakan.</p> <p>10) Analisa perkiraan laju kecepatan infiltrasi pada titik-titik dimana komponen struktur WSUD akan</p>	<p>Selesai</p> <p>Selesai</p> <p>Selesai</p> <p>Selesai</p> <p>Selesai</p> <p>Selesai</p> <p>Selesai</p> <p>Selesai</p>
---	---

diletakkan berdasarkan kondisi lapisan tanah permukaan.	
11) Analisa hidrolika dari setiap komponen struktur WSUD yang direncanakan untuk menghasilkan parameter-parameter hidrolika yang diperlukan dalam analisa selanjutnya.	selesai
12) Penetapan dimensi setiap komponen struktur WSUD yang direncanakan. Dimensi dari komponen-komponen struktur WSUD yang dihasilkan ini merupakan luaran Pra-desain sistem drainase berwawasan lingkungan yang diusulkan.	selesai
13) Perhitungan estimasi biaya dari setiap komponen struktur WSUD yang diusulkan.	selesai

### 5.5 Luaran yang Telah dicapai

Kemajuan pekerjaan yang telah dicapai sejauh ini dapat dimonitor dari rencana tahapan. Dari kemajuan pelaksanaan pekerjaan, maka tabel berikut ini menjelaskan tentang luaran (output) menurut rencana dan progres luaran yang sampai dengan saat ini.

**Tabel 11: Progres Luaran yang Telah Dicapai**

Jenis Luaran	Progres Luaran
1) Pra-desain Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan berdasarkan konsep WSUD, yang dituangkan dalam:	Selesai
2) Gambar-gambar pra-desain	Selesai
3) Estimasi biaya setiap komponen struktur WSUD yang diusulkan	Selesai

4) Hasil analisa hidrologi	Selesai
5) Hasil analisa hidrolika	Selesai
6) Hasil kajian terhadap kesesuaian dengan model pembangunan perkotaan (urban development) yang berwawasan lingkungan dan berkesinambungan.	Selesai
7) Pembuatan model	Selesai
8) Makalah yang dipresentasikan pada salah satu konferensi internasional.	Telah dipresentasikan pada SICEST 2016 Conference
9) Artikel yang dipublikasikan sebagai book chapter yang dipublikasikan secara internasional.	Book Chapter sudah dipublikasikan SPRINGER Internasional

## BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

### 6.1 Rencana Tahapan Pelaksanaan Tahun II

Pelaksanaan pekerjaan pada Tahun I telah memenuhi target, dimana semua rencana item kegiatan yang diproyeksikan untuk diselesaikan pada Tahun I telah selesai. Selanjutnya rencana pelaksanaan kegiatan pada Tahun II, yaitu tahun 2017 difokuskan pada item-item kegiatan yang diproyeksikan untuk dilaksanakan pada Tahun II, sebagaimana tertuang pada Bab 4, Metode Penelitian, lebih khusus pada sub bab 4.3, Tahapan Penelitian. Uraian tahapan kegiatan yang akan dilaksanakan dan diselesaikan pada Tahun II adalah sebagai berikut:

- 1) Survey dan konsultasi dengan para pengembang untuk secara bersama-sama memutuskan komponen struktur WSUD mana yang akan dibuatkan detail desainnya.
- 2) Survey pengukuran topografi dan pemetaan secara detail untuk memperoleh tata letak komponen struktur yang akan didetail desainkan.
- 3) Evaluasi dan hitung ulang analisa hidrologi disesuaikan dengan data hidrologi dan klimatologi terbaru untuk menetapkan debit rencana dari tiap catchment struktur WSUD yang direncanakan.
- 4) Analisa hidrolika untuk mendapatkan dimensi dari desain komponen struktur WSUD *Swale System*.
- 5) Pembelian software untuk menghitung dimensi komponen struktur WSUD *Infiltration System*.
- 6) Penetapan lokasi dan jumlah tes pit, dilanjutkan dengan pelaksanaan pembuatan test pit berukuran 1 meter x 2 meter dengan kedalaman 1,5 meter, untuk melakukan pengujian kapasitas laju infiltrasi.
- 7) Pelaksanaan pengujian laju infiltrasi pada test pit yang telah dibuat dengan menggunakan water truck.
- 8) Analisa hidrolika, untuk mendapatkan dimensi komponen struktur WSUD *Swale System* berdasarkan debit rencana yang dihitung dalam analisa hidrologi.
- 9) Running software untuk menghitung dimensi komponen struktur WSUD *Infiltration System*, berdasarkan data hasil pengujian laju infiltrasi pada test pit-test pit.
- 10) Simulasi dan modelling untuk mendapatkan dimensi komponen struktur WSUD *Retention Basin, Bioretention Basin dan Constructed Wetland*

- 11) Finalisasi desain komponen-komponen struktur WSUD yang sudah didimensi untuk dibuatkan Detail Desainnya.
- 12) Pembuatan Detail Desain Lengkap Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan berdasarkan konsep WSUD.
- 13) Penggambaran Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan yang didetail desainkan
- 14) Pembuatan spesifikasi teknik dari struktur WSUD yang direncanakan
- 15) Pembuatan metodologi pelaksanaan pekerjaan
- 16) Pembuatan rencana anggaran biaya
- 17) Pembuatan manual operasi dan pemeliharaan
- 18) Membuat kajian lingkungan terhadap rencana pembangunan sistem drainase berwawasan lingkungan yang dihasilkan, dimulai dari perioda pra konstruksi, pelaksanaan konstruksi dan perioda pasca konstruksi
- 19) Melakukan kajian komponen-komponen paralel lain dalam model pembangunan perkotaan yang berwawasan lingkungan dan berkesinambungan (sustainable urban development)

## **6.2 Rencana Luaran Tahun II**

Tahapan pelaksanaan kegiatan pada tahun kedua direncanakan bermuara pada output yang dihasilkan berupa luaran-luaran sebagai berikut:

- (1) Detail Desain Lengkap Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan berdasarkan konsep WSUD, yang terdiri dari
  - Gambar-gambar desain lengkap
  - Spesifikasi teknis dari setiap komponen yang direncanakan
  - Metodologi pelaksanaan pekerjaan
  - Rencana anggaran biaya
  - Manual operasi dan pemeliharaan
- (2) Hasil evaluasi dan justifikasi hasil analisa hidrologi dan hidrolika
- (3) Hasil kajian lingkungan terhadap rencana pembangunan sistem drainase berwawasan lingkungan yang dihasilkan, dimulai dari perioda pra konstruksi, pelaksanaan konstruksi dan perioda pasca konstruksi
- (4) Rekomendasi komponen-komponen paralel lain dalam model pembangunan perkotaan yang berwawasan lingkungan dan berkesinambungan (sustainable urban development)

- (5) Makalah yang dipresentasikan pada salah satu konferensi national atauj internasional
- (6) Artikel yang dipublikasikan pada salah satu jurnal nasional

## **BAB 7. Kesimpulan dan Saran**

### **7.1 Kesimpulan**

Konsep WSUD yang merupakan suatu sistem drainase yang berwawasan lingkungan di Australia, ternyata dapat diaplikasikan di Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Berbagai komponen WSUD berhasil direncanakan dalam tahapan penelitian ini, dimana untuk tahun pertama ini bertujuan untuk menghasilkan pra-desain perencanaan. Penerapan komponen WSUD berbeda-beda dari areal yang satu terhadap areal yang lain, semua itu tergantung faktor-faktor, situasi dan kondisi lokasi pengembangan.

Analisis berdasarkan kriteria-kriteria yang ditentukan menunjukkan hasil bahwa daerah pengembangan di Kota Manado cukup layak untuk dilakukan aplikasi konsep WSUD sebagai sistem drainase berwawasan lingkungan. Dari 9 lokasi pengembangan yang dievaluasi, Grand Kawanua (GK) memiliki nilai kesesuaian 92,5% dan yang terkecil dimiliki oleh Green Hill Residence (GHR) dan Paramount Hill (PH), itupun dengan nilai kesesuaian sebesar 60%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa aplikasi konsep WSUD sebagai sistem drainase berwawasan lingkungan di Kota Manado sesuai untuk dilaksanakan.

### **7.2 Saran**

Pelaksanaan penelitian ini difokuskan pada bagaimana menerapkan konsep WSUD di Kota Manado melalui pengaplikasian berbagai jenis komponen WSUD (WSUD devices). Disarankan agar penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada setiap komponen WSUD, sehingga hasil penelitian dapat lebih mendalam atau lebih spesifik untuk masing-masing komponen WSUD.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Allison, R., Chiew, F. and McMahon, T., (1997), 'Stormwater Gross Pollutants', Industry Report, Clayton, Victoria, CRC for Catchment Hydrology.
2. Brown, R., (2005), 'Impediments to Integrated Urban Stormwater Management: The Need for Institutional Reform', *Environmental Management*, Vol. 36, No. 3, pp. 455-68.
3. Browne, D., Deletic, A., Mudd, G. M. and Fletcher, T. D., (2008), 'A new saturated/unsaturated model for stormwater infiltration systems', *Hydrological Processes*, Vol. 22, No. 25, pp. 4838-49.
4. Clar, M. L., Barfield, B. J. and O'Connor, T. P., (2004a), 'Stormwater Best Management Practice Design Guide, Volume 1: General Considerations', Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency.
5. Clar, M. L., Barfield, B. J. and O'Connor, T. P., (2004b), 'Stormwater Best Management Practice Design Guide, Volume 3: Basin Best Management Practices', Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency
6. Davis, A. P., Shokouhian, M., Sharma, H. and Minami, C., (2006), 'Water Quality improvement through bioretention media: nitrogen and phosphorus removal', *Water Environment Research*, Vol. 78, pp. 2177-85
7. Department of Water and Swan River Trust. (2007). 'Stormwater Management Manual for Western Australia: Structural Controls', edited by Torre, A. and Monk, E. Perth W. A.: Department of Water, Government of Western Australia.
8. Dietz, M. E. and Clausen, J. C., (2005), 'A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment', *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 167, No. 1-4, pp. 123-38
9. DCR, (1999), 'Virginia Stormwater Management Handbook', First Edition, Volume I, Richmond Virginia: Department of Conservation and Recreation, Division of Soil and Water Conservation.
10. Fiener, P. and Auerswald, K., (2005), 'Measurement and modeling of concentrated runoff in grassed waterways', *Journal of Hydrology*, Vol. 301, No. 1-4, pp. 198-215.
11. Gardiner, A. and Hardy, M., (2005), 'Beyond demonstration mode: the application of WSUD in Australia', *Australian Planner*, Vol. 42, No. 4, pp. 16-21.
12. Goonetilleke, A. and Thomas, E., (2003), 'Water quality impacts of urbanisation: Evaluation of current research', Departmental Technical Report, Centre for Built Environment and Engineering Research, Queensland University of Technology, pp. 1-93.
13. Goonetilleke, A., Thomas, E., Ginn, S. and Gilbert, D., (2005), 'Understanding the role of land use in urban stormwater quality management', *Journal of Environmental Management*, Vol. 74, No. 1, pp. 31-42.

14. Hengren, L., Goonetilleke, A. and Ayoko, G. A., (2006), 'Analysis of heavy metals in road-deposited sediments', *Analytica Chimica Acta*, Vol. 571, No. 2, pp. 270-8.
15. Hunt, W. F., III, (2003), 'Pollutant removal evaluation and hydraulic characterization for bioretention stormwater treatment devices', Ph.D. Thesis, The Pennsylvania State University, United States -- Pennsylvania.
16. Hunt, W. F., Jarrett, A. R., Smith, J. T. and Sharkey, L. J., (2006), 'Evaluating bioretention hydrology and nutrient removal at three field sites in North Carolina', *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 132, No. 6, pp. 600–8.
17. Lloyd, S. D., Wong, T. H. F. and Chesterfield, C. J., (2002), 'Water Sensitive Urban Design - A Stormwater Management Perspective', Industry Report 02/10, Melbourne, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology
18. Mouritz, M., Evangelisti, M. and McAlister, T., (2006), 'Water sensitive urban design', In *Australian runoff quality : a guide to water sensitive urban design*, ed. Wong, T. H. F., [Crowst Nest N.S.W.: Engineers Media for Australian Runoff Quality Authorship Team], pp. 4.1 - 4.26
19. Prakash, A., (2005), 'Impact of urbanization in watersheds on stream stability and flooding', *Proceedings of the Watershed Management Conference (eds)*, Williamsburg, Virginia.
20. Victorian Stormwater Committee, (1999), 'Urban stormwater: Best practice environmental management guidelines', Collingwood VIC: CSIRO Publishing
21. Wong, T. H. F., (2000), 'Improving Urban Stormwater Quality – From Theory to Implementation', *Water – Journal of the Australian Water Association*, Vol. 27, No. 6, pp. 28-31.
22. Wong, T. H. F., (2006), 'Australian runoff quality: a guide to water sensitive urban design', Crows Nest, N.S.W.: Engineers Media for Australian Runoff Quality Authorship Team, Institution of Engineers Australia