



**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: 05 /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 Riset Unggulan Universitas Sam Ratulangi (RUU) – November 2016, berjudul Studi Pemanfaatan “Cosntructed Wetland” (Rawa Buatan) sebagai Komponen Eko-drainase Sesuai Sifat-sifat hujan di Wilayah Manado.*

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

Manado, 11 September 2017  
a.n. Kepala UPT-Perpustakaan  
Fakultas Teknik Unsrat,



**Servie O. Dapas, ST., MT.**

NIP. 19671003 199303 1 001

Bidang Unggulan : Pengelolaan dan Mitigasi  
Bencana

Fakultas/ Jurusan : Teknik / Teknik Sipil

**LAPORAN AKHIR  
RISET UNGGULAN UNIVERSITAS SAM RATULANGI  
(RUU)**



**STUDI PEMANFAATAN “CONSTRUCTED WETLAND” (RAWA BUATAN)  
SEBAGAI KOMPONEN EKO-DRAINASE SESUAI SIFAT-SIFAT HUJAN DI  
WILAYAH MANADO**

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

**Ir. Eveline Maria Wuisan, MSc  
NIDN : 0009085301**

**UNIVERSITAS SAM RATULANGI**

**NOVEMBER 2016**

Dibiayai Dari Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA)  
Nomor: SP DIPA - 042.01.2.400959/2016 tanggal 07 Desember 2015

## HALAMAN PENGESAHAN

**Judul** : Studi Pemanfaatan 'Constructed Wetland' (Rawa Buatan) sebagai Komponen Eko-drainase Sesuai Sifat-Sifat Hujan di Wilayah Manado

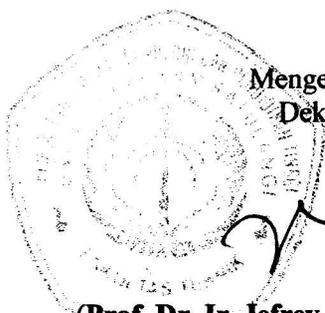
**Pelaksana**

**Nama Lengkap** : Ir. Isri Ronald Mangangka, M.Eng., Ph.D.  
**NIDN** : 0024096505  
**Jabatan Fungsional** : Lektor Kepala  
**Fakultas** : Teknik  
**Program Studi** : Teknik Lingkungan  
**Nomor HP** : 0812 4286 5495  
**Alamat surel (e-mail)** : isri.mangangka@unsrat.ac.id

**Anggota**

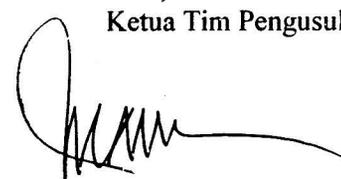
**Nama Lengkap** : Ir. Eveline Maria Wuisan, MSc.  
**NIDN** : 0009085301  
**Perguruan Tinggi** : Universitas Sam Ratulangi  
**Fakultas** : Teknik  
**Tahun Pelaksanaan** : 2016  
**Tahun Pelaksanaan** : Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun  
**Biaya Tahun Berjalan** : Rp. 50.000.000,-  
**Biaya Keseluruhan** : Rp. 50.000.000,-

Mengetahui:  
Dekan,



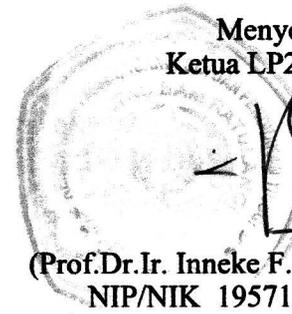
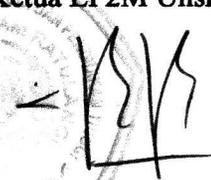
(Prof. Dr. Ir. Jeffrey I. Kindangen, DEA)  
NIP. 19650603 199003 1 003

Manado, 29 November 2016  
Ketua Tim Pengusul,



(Ir. Isri Ronald Mangangka, M.Eng., Ph.D.)  
NIP. 19650924 199303 1 003

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 dkk. 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 dkk. 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 (eko-drainase) 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 meninjau dan mengevaluasi efektivitas salah satu komponen WSUD sebagai sistem eko-drainase, yaitu “constructed wetland” (rawa buatan) agar diperoleh dimensi yang optimal berdasarkan sifat-sifat hujan di wilayah Manado. Hasil evaluasi berupa perhitungan dimensi yang optimal tersebut selanjutnya dapat diusulkan untuk dijadikan standar perencanaan.

Disamping luaran berupa standar perencanaan, penelitian ini juga menargetkan untuk menghasilkan publikasi pada jurnal nasional dan makalah yang akan dipresentasikan pada salah satu seminar nasional.

**Kata kunci: Eko-drainase, constructed wetland, rawa buatan.**

## **PRAKATA**

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat tuntunannya kegiatan Penelitian dengan Judul “Studi Pemanfaatan ‘Constructed Wetland’ (Rawa Buatan) sebagai Komponen Eko-drainase Sesuai Sifat-Sifat Hujan di Wilayah 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. Jefrey 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 dengan dihasilkannya indikator desain dan kapasitas Constructed Wetland/ Rawa Buatan disesuaikan dengan sifat-sifat hujan di wilayah Manado. Kegiatan penelitian ini juga telah menghasilkan luaran berupa artikel yang akan diterbitkan oleh jurnal nasional terakreditasi “Civil Engineering Dimension” yang dikelola oleh Universitas Kristen Petra Surabaya. 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>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 Ciri-ciri Umum Constructed Wetland (Rawa Buatan).....	4
2.2 Kemampuan Menangani Kuantitas Air Hujan .....	6
2.3 Kemampuan Menangani Kualitas Air Hujan .....	6
2.4 Pengaruh Faktor-faktor Hidrolika pada Proses Penjernihan Air.....	7
2.5 Efektivitas Hidrologis dari Rawa Buatan.....	7
<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 Bagi Masyarakat, Pemerintah dan 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 .....	13
<b>BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI</b> .....	<b>14</b>
5.1 Kemajuan Pekerjaan yang Telah Dicapai .....	14
5.2 Luaran yang Telah Dicapai .....	15
5.3 Analisa Hidrologi .....	16
5.3.1 Uji Data Hujan Outlier .....	17

5.3.2 Analisis Curah Hujan Rancangan .....	19
5.4 Pemodelan Simulasi Komputer .....	23
5.5 Konfigurasi dan Dimensi Optimal Rawa Buatan untuk Wilayah Manado .....	24
<b>BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>26</b>
6.1 Kesimpulan .....	26
6.2 Saran.....	26
<b>LAMPIRAN 1: FOTO-FOTO KEGIATAN PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
<b>LAMPIRAN 2 : BUKTI STATUS <i>SUBMISSION</i> DI JURNAL NASIONAL TERAKREDITASI.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>LAMPIRAN 3 : SURAT TUGAS.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>LAMPIRAN 4 : FORMULIR EVALUASI ATAS CAPAIAN LUARAN KEGIATAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>LAMPIRAN 5 : LUARAN-LUARAN.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

**Luaran 1: Assessing Constructed Wetland Treatment Performance**

Book Chapter 4, ISBN: 978-981-10-1659-2 (Print) 978-981-10-1660-8 (Online/eBook). Penerbit: SPRINGER International

(Sudah terbit)-----

**Luaran 2: Modelling the Hydraulic Processes on Constructed Wetland Performance**

Journal Article pada *Civil Engineering Dimension*, ISSN: 1410-9530

(Sudah di-submit, Dalam proses review)

## DAFTAR TABEL

Tabel 1: Progres Pekerjaan .....	14
Tabel 1. Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Klimatologi Kayuwatu .....	17
Tabel 2. Perhitungan Outlier Data Hujan Stasiun Kayuwatu .....	18
Tabel 3. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Menggunakan Distribusi Gumbel Tipe I .....	20
Tabel 4. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Menggunakan Distribusi Log Normal Dua Parameter.....	21
Tabel 5. Curah Hujan Rancangan Dengan Distribusi Log Pearson Tipe III .....	22
Tabel 6. Rekapitulasi Curah Hujan Rancangan Tiap Metode.....	22

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1: Tipikal Rawa Buatan.....	5
Gambar 2: Peta Jalan (Road Map) Penelitian .....	12
Gambar 3 : Hasil Analisis Perhitungan Curah Hujan Rancangan Harian .....	22
Gambar 4: Konfigurasi Wetland Rencana .....	23

## **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 dkk. 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 dkk. 2004a; Wong dkk. 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 dkk. 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 dan Thomas 2003).

Penerapan sistem drainase yang berwawasan lingkungan (eko-drainase) 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).

“Constructed Wetland” (Rawa Buatan), adalah salah satu komponen yang digunakan pada sistem eko-drainase. Rawa Buatan adalah komponen eko-drainase yang terintegrasi yang bermanfaat tidak hanya menangani kuantitas dan kualitas air hujan, tapi juga menciptakan keramahan, estetika dan keindahan, konservasi air dan restorasi ekologi.

## **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 (eko-drainase) sebagai alternative dari sistem drainase konvensional perlu diterapkan untuk mewujudkan Kota Manado sesuai dengan visinya. Rawa Buatan sebagai komponen eko-drainase telah

dimanfaatkan dan dibangun dalam jumlah yang besar di negara-negar maju seperti Amerika Serikat dan Australia. Meskipun Rawa Buatan telah berhasil dikembangkan di banyak kota di dunia, namun karena kota-kota di Indonesia memiliki perbedaan karakteristik terutama perbedaan iklim dan tinggi curah hujan serta sifat-sifat curah hujan, akan menjadi pertanyaan dan tantangan bagaimana Rawa Buatan dapat diterapkan di Indonesia. Meskipun di negara-negara maju telah memiliki pedoman perencanaan Rawa Buatan, menerapkan pedoman itu di Indonesia adalah mustahil.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

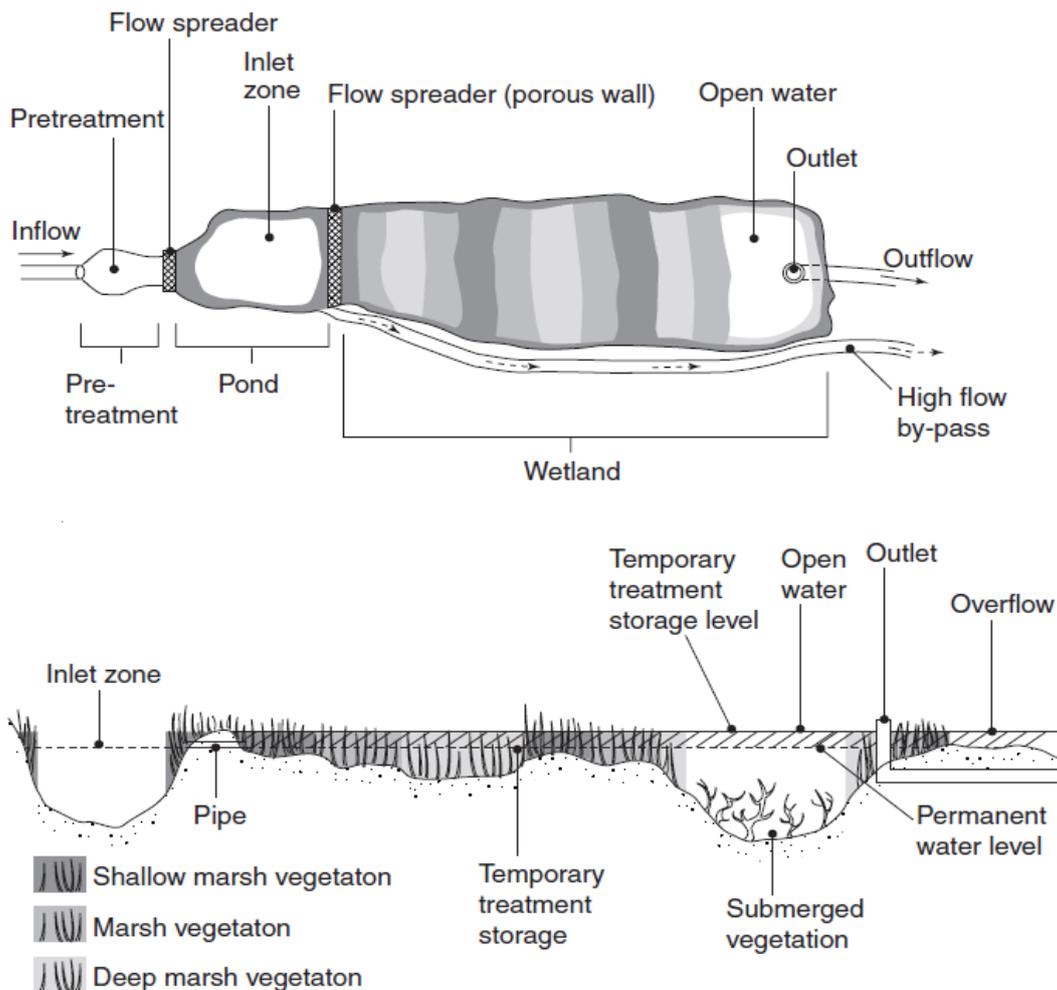
Sistem drainase air hujan tradisional dibangun terutama dengan tujuan untuk mitigasi banjir dan sedikit sekali perhatian yang diberikan terhadap mitigasi dampak lingkungan. Dengan alasan tersebut, sistem drainase perkotaan umumnya telah dibangun dengan fokus pada kapasitas angkut untuk meminimalkan resiko 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).

Sistem eko-drainase adalah salah satu metoda penanganan air hujan yang terintegrasi dan berkelanjutan, diciptakan sebagai alternatif dari sistem drainase perkotaan konvensional. Sistem eko-drainase memiliki pendekatan filosofis untuk model dan perencanaan perkotaan yang bertujuan untuk meminimalkan dampak hidrologi dari pembangunan perkotaan terhadap lingkungan sekitar (Lloyd dkk. 2002). Constructed Wetland (Rawa Buatan) adalah salah satu komponen sistem eko-drainase yang merupakan 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 mencegah banjir dan meningkatkan kualitas air hujan.

### **2.1 Ciri-ciri Umum Constructed Wetland (Rawa Buatan)**

Constructed wetland (rawa buatan) adalah badan air buatan yang dangkal dan padat dengan vegetasi. Rawa Buatan pada dasarnya diciptakan untuk menghilangkan polutan, untuk meningkatkan keindahan pemandangan dan untuk memastikan ketersediaan air untuk digunakan kembali sebagai keuntungan tambahan (Department of Water and Swan River Trust 2007). Sebuah Rawa Buatan umumnya terdiri dari zona inlet, zona vegetasi sebagai areal utama dari wetland, dan saluran bypass. Zona inlet berupa kolam sedimentasi yang relatif dalam dengan vegetasi pada pinggirannya serta sebagian tenggelam, terletak di bagian hulu dan umumnya digunakan untuk *pre-treatment* untuk sedimen kasar dan polutan berukuran besar pollutants (Victorian Stormwater Committee 1999; Department of Water and Swan River Trust 2007).

Zona vegetasi sebagai bagian utama dari sistem wetland memiliki tubuh air yang dangkal yang padat dengan vegetasi yang muncul dari permukaan air. Ada beberapa zona yang spesifik untuk vegetasi yang melingkupi Rawa Buatan dimana setiap zona umumnya ditentukan oleh kedalaman air (lihat Gambar 1).



**Gambar 1: Tipikal Rawa Buatan**

(Sumber: Victorian Stormwater Committee 1999)

Gambar 1 memperlihatkan bahwa Rawa Buatan memiliki 4 zona vegetasi yaitu zona vegetasi dangkal (shallow marsh vegetation), zona vegetasi rawa (marsh vegetation), zona vegetasi rawa dalam (deep marsh vegetation) dan zona vegetasi tenggelam submerged vegetation) (Victorian Stormwater Committee 1999). Rawa Buatan juga memiliki permukaan air terbuka yang memungkinkan masuknya sinar ultraviolet. Limpasan permukaan (runoff) yang memasuki zona vegetasi dikontrol di zona inlet menggunakan sistem bypass. Hal ini untuk

melindungi zona vegetasi. Namun demikian, hal ini mengurangi efektifitas treatment dari Rawa Buatan (Melbourne Water 2005; SEQHWP 2006).

## **2.2 Kemampuan Menangani Kuantitas Air Hujan**

Rawa Buatan membantu mengurangi volume dan debit puncak runoff melalui proses infiltrasi, evaporasi dan retensi. Efektivitas hidrologi dalam menahan air hujan ditentukan oleh interaksi antara tiga faktor yaitu waktu retensi, karakteristik inflow dan volume tampungan (Wong dkk. 1999). Waktu retensi yang lama pada sistem Rawa Buatan memastikan terjadinya reduksi yang signifikan dari debit puncak runoff. Akan tetapi, karena kondisi Rawa Buatan yang jenuh air, sangat sedikit perkolasi air hujan ke dalam tanah. Parker dkk. (2009) melaporkan bahwa sebuah Rawa Buatan di Queensland Tenggara, Australia mengurangi volume runoff hanya sebesar 5%.

## **2.3 Kemampuan Menangani Kualitas Air Hujan**

Rawa Buatan dikatakan sebagai fasilitas perawatan kualitas air hujan, khususnya ketika air hujan mengandung polutan terlarut berkonsentrasi tinggi dimana sangat sulit untuk dihilangkan oleh fasilitas perawatan air hujan lainnya (Bautista and Geiger 1993; Mitsch and Gosselink 1986; Scholz 2006). Penjernihan air hujan pada Rawa Buatan dihasilkan melalui proses pengendapan, ditangkap oleh vegetasi, penyerapan, penyaringan dan dekomposisi biologi (Mitsch and Gosselink 1986; DCR 1999). Telah dilaporkan bahwa vegetasi pada wetland meningkatkan kualitas air hujan melalui proses sedimentasi, penyaringan nutrisi dan polutan lain melalui akar, batang dan daun dan membantu pertumbuhan biofilm yang dapat mengasimilasi nutrisi-nutrisi terlarut pada air hujan (Dierberg dkk. 2002; Ellis dkk. 1994; Jenkins and Greenway 2005; Kohler dkk. 2004).

Perubahan kedalaman pada wetland tegak lurus pada arah aliran air hujan dapat mengubah dan menghilangkan nitrogen melalui berbagai reaksi kimia. Zona dangkal umumnya baik mengandung oksigen dan karenanya mendukung proses mineralisasi dan nitrifikasi. Mineralisasi adalah proses penguraian nitrogen menjadi ammonium dan fosfor organik menjadi fosfat ( $PO_4$ ). Konversi biologis tersebut dilakukan oleh bakteri (Mitsch and Gosselink 1986). Nitrifikasi adalah konversi biologis organik dan anorganik nitrogen dari keadaan kekurangan menjadi kondisi yang lebih oksidasi (Wetzel 1983). Ini terjadi melalui dua tahap yang berurutan yaitu oksidasi ammonium dan oksidasi nitrit. Oksidasi ammonium adalah konversi ammonium ( $NH_4$ ) menjadi nitrit ( $NO_2$ ) oleh bakteri *Nitrobacter* sp.,

kemudian dilanjutkan dengan oksidasi nitrit yaitu konversi nitrit ( $\text{NO}_2$ ) menjadi nitrat ( $\text{NO}_3$ ) oleh bakteri *Nitrosomonas* sp. (Davies and Hart 1990). Saat air hujan mengalir ke zona dalam, terjadilah proses denitrifikasi yaitu konversi nitrat menjadi gas nitrogen. Proses ini terjadi dalam 2 tahap, yaitu konversi nitrat dan nitrit menjadi oxide nitric (NO) kemudian menjadi oksida nitrous ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dan nitrogen ( $\text{N}_2$ ) yang selanjutnya dibuang ke udara (Wetzel 1983).

Pada constructed wetland terjadi pula penjernihan terhadap logam berat. Logam berat dapat dihilangkan melalui proses sedimentasi, penyerapan dan penangkapan oleh tumbuh-tumbuhan. Unjuk kerja Rawa Buatan dalam mereduksi logam berat, khususnya Zn, Pb dan Cu telah dilaporkan oleh Walker dan Hurl (2002), sementara pembersihan terhadap logam berat lainnya termasuk Ca, Mg, Mn dan Na telah dicatat oleh Kohler dkk. (2004). Para peneliti lainnya juga telah melaporkan bahwa Rawa Buatan dapat secara signifikan mereduksi kandungan polutan organik seperti pestisida, insektisida, fungisida dan hidrokarbon (Kohler et al. 2004; Sherrard et al. 2004; Thurston 1999). Selain itu, Rawa Buatan dapat memusnahkan patogen-patogen melalui pencahayaan oleh sinar ultraviolet pada zona air terbuka atau melalui proses penyerapan. Pada sebuah studi di Washington, Amerika Serikat, Reinelt dan Horner (1995) melaporkan rata-rata tahunan reduksi faecal coliform sebesar 49%.

#### **2.4 Pengaruh Faktor-faktor Hidrolika pada Proses Penjernihan Air**

Proses penjernihan air hujan pada Rawa Buatan dipengaruhi oleh berbagai faktor hidrolika seperti muatan hidrolika, waktu retensi, karakteristik inflow dan kedalaman air (Carleton dkk. 2001; Holland dkk. 2004). Faktor-faktor ini mempengaruhi transportasi polutan selama periode penjernihan. Menurut Wong dkk. (2009) proses penjernihan juga dipengaruhi oleh hidrodinamika, kondisi batimetri dari wetland dan desain struktur outletnya. Meskipun demikian, para peneliti mencatat bahwa muatan hidrolika dan waktu retensi adalah dua faktor yang paling mempengaruhi kinerja penjernihan air oleh Rawa Buatan (Carleton dkk. 2001; Holland dkk. 2004; Chang dkk. 2007; Bastviken dkk. 2009; Fisher dkk. 2009).

#### **2.5 Efektivitas Hidrologis dari Rawa Buatan**

Sistem inlet didesain untuk volume dan debit optimum dari aliran air hujan yang masuk di Rawa Buatan. Pada dasarnya, Rawa Buatan yang menerima volume dan debit yang tinggi dapat menjadi sumber polutan dari pada fasilitas penjernihan air. Hal ini membuat para perencana menjaga kondisi hidrolika yang optimal di dalam Rawa Buatan dengan menyediakan sistem bypass. Akan tetapi sistem bypass akan mengurangi efektivitas

hidrologis dari Rawa Buatan dengan membatasi aliran yang akan memasuki sistem. Efektivitas hidrologis diekspresikan sebagai prosentasi volume rata-rata tahunan runoff yang memasuki sistem Rawa Buatan setelah dikurangi dengan volume yang di-bypass terhadap total volume runoff yang terjadi pada catchment tersebut. Di Queensland Tenggara (Australia), efektivitas hidrologis dari sebuah Rawa Buatan yang direncanakan dengan baik adalah lebih dari 80% (SEQHWP 2006). Karena itu, dimensi Rawa Buatan harus direncanakan dengan mempertimbangkan sifat-sifat curah hujan yaitu intensitas hujan, jumlah curah hujan dan durasi hujan di wilayah dimana Rawa Buatan itu akan dibuat.

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

### **3.1 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi/ kajian pemanfaatan Rawa Buatan sebagai komponen eko-drainase sistem untuk wilayah Manado dan sekitarnya. Lebih jauh penelitian ini akan mengkaji bagaimana karakteristik curah hujan dan iklim di wilayah Manado mempengaruhi dimensi dan kapasitas Rawa Buatan agar Rawa Buatan memiliki unjuk kerja yang optimal.

### **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 pedoman desain infrastruktur yang mempertahankan kualitas lingkungan hidup. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diadopsi untuk dijadikan standar perencanaan Rawa Buatan di Wilayah Manado. Lebih jauh hasil penelitian ini kiranya dapat dijadikan bahan penyusunan pedoman perencanaan Rawa Buatan untuk wilayah-wilayah lain di Indonesia.

### **3.3 Hasil yang Ditargetkan dan Kontribusi Bagi Masyarakat, Pemerintah dan Ilmu Pengetahuan**

Penelitian ini diharapkan dapat membuahkan hasil nyata berupa standar desain Rawa Buatan yang langsung dapat dimanfaatkan oleh para stakeholders, dalam hal ini adalah Pemerintah Kota Manado untuk diterapkan dalam peraturan dan masyarakat pengguna untuk digunakan sebagai acuan dalam pembuatan Rawa Buatan sebagai komponen sistem eko-drainase. Penelitian ini merupakan studi kasus untuk wilayah Manado, namun juga dapat dijadikan

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 dihasilkan, tidak hanya berupa produk desain, tetapi juga aspek ilmiah bagaimana Rawa Buatan sebagai komponen sistem eko-drainase berhasil diterapkan di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia. Kajian aspek ilmiah ini diharapkan dapat memberikan *outcome* yang memiliki kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan.

## **BAB 4. METODE PENELITIAN**

### **4.1 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian adalah di wilayah Manado mencakup Kota Manado dan sekitarnya yang memiliki karakteristik hujan yang sama, di Provinsi Sulawesi Utara. Wilayah Manado dipilih menjadi lokasi penelitian ini dengan alasan ketersediaan data-data curah hujan yang lebih lengkap dan calon pengguna hasil standar desain ini yang secara kuantitas lebih banyak.

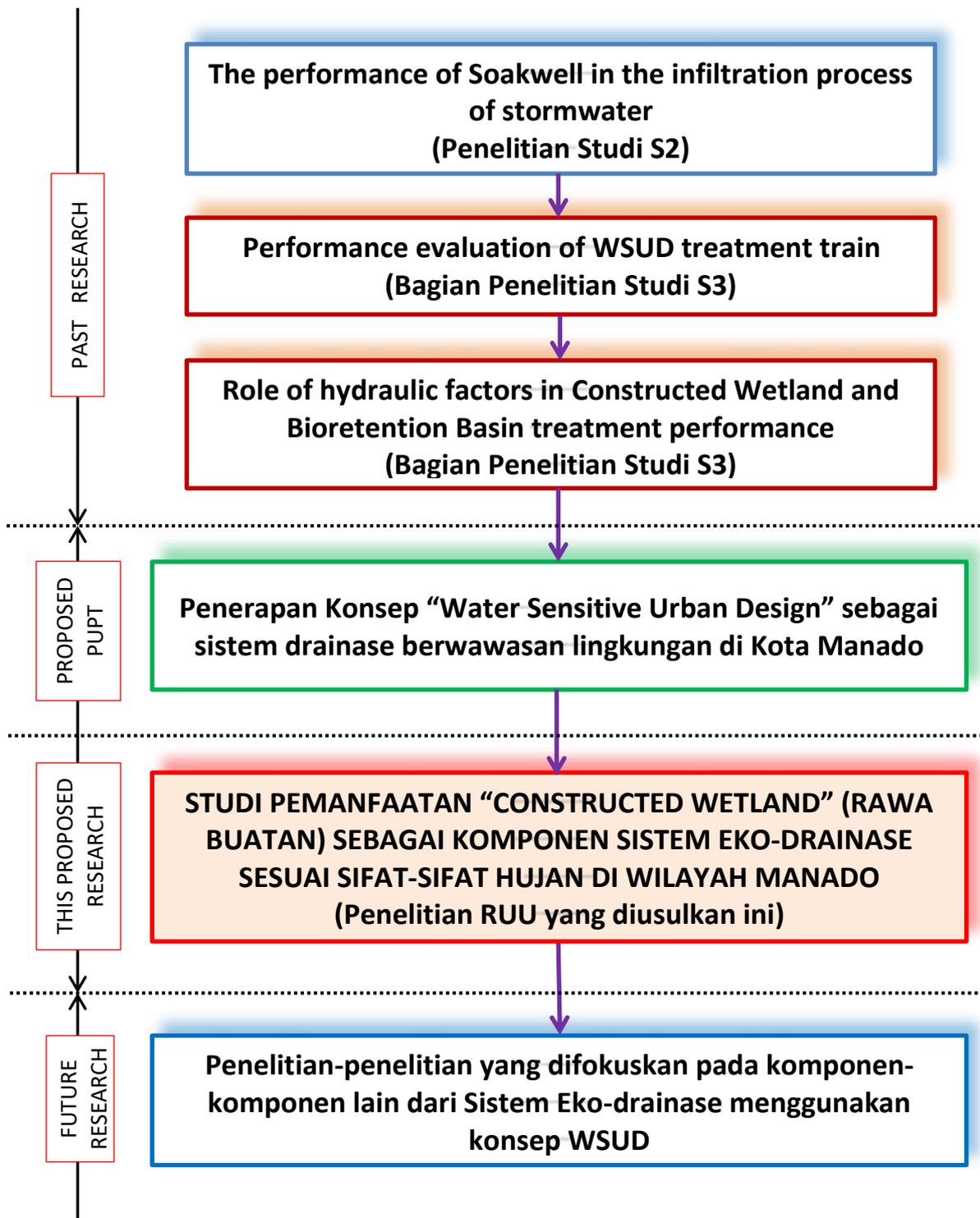
### **4.2 Peta Jalan (Road Map)**

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 standar desain komponen Sistem Eko-drainase di Kota Manado. Penelitian ini meskipun direncanakan hanya berlangsung selama setahun, namun terintegrasi dengan penelitian-penelitian lain yang sedang dihadapi dan diusulkan. Hubungan antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian lainnya digambarkan pada peta jalan (road map) penelitian.

Selain lanjutan dari penelitian semasa studi S2 dan S3, penelitian ini sangat berhubungan dengan usulan penelitian PUPT tahun 2016 yang diusulkan tahun 2015 ini. Penelitian PUPT yang diusulkan tersebut berjudul “Penerapan Konsep ‘Wate Sensitive Urban Design (WSUD)’ sebagai sistem drainase berwawasan lingkungan di Kota Manado, dimana penelitian tersebut merupakan tinjauan Sistem Eko-drainase menggunakan konsep WSUD secara global keseluruhan. Penelitian-penelitian lanjutan setelah penelitian PUPT tersebut merupakan penelitian-penelitian dengan konsentrasi pada salah satu komponen WSUD, termasuk penelitian Penelitian RUU yang diusulkan ini berkonsentrasi pada komponen WSUD Rawa Buatan. Penelitian-penelitian pada kesempatan mendatang juga akan difokuskan pada komponen-komponen WSUD yang lain.

Salat satu komponen WSUD yang akan dipilih untuk menjadi fokus pada penelitian lanjutan adalah soakwell/sumur resapan. Komponen ini dipilih karena komponen ini pernah diteliti aspek hidrolisnya selama masa studi S2 di Curtin University, Austrlia. 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 2: Peta Jalan (Road Map) Penelitian

### **4.3 Tahapan Penelitian**

Penelitian yang diusulkan ini direncanakan akan diselesaikan dalam durasi selama 6 (enam) bulan dan akan dilaksanakan menurut tahap-tahap penelitian yang disusun secara berurutan sebagai berikut:

- 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 memperoleh data-data sekunder, di antaranya adalah data curah hujan dari Kantor BMKG Manado dan Balai Wilayah Sungai Sulawesi I.
- 3) Penetapan lokasi perencanaan dan pengambilan sampel tanah untuk dilakukan uji di laboratorium.
- 4) Pengujian tanah di laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat tanah yang berhubungan dengan electric conductivity dan permeability
- 5) Penyiapan desain berdasarkan bentuk-bentuk Rawa Buatan yang sudah ada dan tersedia di tempat lain berdasarkan studi pustaka, serta seleksi model yang sesuai dengan wilayah Manado.
- 6) Pembuatan model hidrolika dari desain Rawa Buatan untuk dilakukannya simulasi terhadap variasi curah hujan yang terjadi di wilayah Manado.
- 7) Running simulasi dan penyesuaian bentuk desain Rawa Buatan disesuaikan dengan karakteristik hujan di wilayah Manado agar diperoleh bentuk desain Rawa Buatan yang optimal.
- 8) Evaluasi terhadap bentuk desain Rawa Buatan dan penetapan bentuk yang akan digunakan dan dijadikan standar desain.

### **4.4 Luaran**

Output/luaran yang diharapkan akan dihasilkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Model komputer konseptual disesuaikan dengan kondisi wilayah Manado
- (2) Standar desain Rawa Buatan yang sesuai dengan kondisi geologi, hidrologi dan klimatologi untuk wilayah Manado
- (3) Artikel ilmiah pada jurnal atau chapter book internasional
- (4) Karya ilmiah yang dipublikasikan pada jurnal ilmiah nasional terakreditasi

## BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

### 5.1 Kemajuan Pekerjaan yang Telah Dicapai

Kemajuan pekerjaan yang telah dicapai sejauh ini telah mencapai 100 %, dan dapat dimonitor dari rencana tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana diuraikan pada sub-bab 4.3. Dari rencana tahapan pelaksanaan pekerjaan tersebut, berikut ini dibuatkan tabel progres pelaksanaan pekerjaan untuk kondisi sampai dengan saat ini.

**Tabel 1: Progres Pekerjaan**

Tahapan pelaksanaan pekerjaan	Progres yang telah dicapai
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 memperoleh data-data sekunder, di antaranya adalah data curah hujan dari Kantor BMKG Manado dan Balai Wilayah Sungai Sulawesi I.	Selesai
3) Penetapan lokasi perencanaan dan pengambilan sampel tanah untuk dilakukan uji di laboratorium.	Selesai
4) Pengujian tanah di laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat tanah yang berhubungan dengan electric conductivity dan permeability	Selesai
5) Penyiapan desain berdasarkan bentuk-bentuk Rawa Buatan yang sudah ada dan tersedia di tempat lain berdasarkan studi pustaka, serta seleksi model yang sesuai dengan wilayah Manado.	Selesai

6) Pembuatan model hidrolika dari desain Rawa Buatan untuk dilakukannya simulasi terhadap variasi curah hujan yang terjadi di wilayah Manado.	Selesai
7) Running simulasi dan penyesuaian bentuk desain Rawa Buatan disesuaikan dengan karakteristik hujan di wilayah Manado agar diperoleh bentuk desain Rawa Buatan yang optimal.	Sementara
8) Evaluasi terhadap bentuk desain Rawa Buatan dan penetapan bentuk yang akan digunakan dan dijadikan standar desain.	Akan dilaksanakan

## 5.2 Luaran yang Telah Dicapai

Luaran yang telah dicapai sejauh ini adalah publikasi internasional berupa book chapter (sudah publikasi) dan telah dikirimnya artikel ilmiah ilmiah pada jurnal nasional terakreditasi Civil Engineering Dimension yang dikelola oleh Universitas Kristen Petra Surabaya. Publikasi-publikasi tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Mangangka Isri R., Liu An, Goonetilleke Ashantha, Egodawatta Prasanna (2016), **Assessing Constructed Wetland Treatment Performance**, in Enhancing the Storm Water Treatment Performance of Constructed Wetlands and Bioretention Basins. pp. 49-61. ISBN: 978-981-10-1659-2 (Print) 978-981-10-1660-8 (Online/eBook), Singapore: Springer Singapore.  
Chapter link: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-1660-8\\_4](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-1660-8_4)  
DOI 10.1007/978-981-10-1660-8\_4  
Series ISSN: 2194-7244, 2194-7252 (electronic)
- 2) Telah disubmitnya artikel ilmiah pada jurnal nasional terakreditasi Civil Engineering Dimension yang dikelola oleh Universitas Kristen Petra Surabaya .

### **5.3 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 1. 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*

### 5.3.1 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 ( $C_{SLog}$ ):

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

Perhitungan data outlier selanjutnya dilakukan dengan menggunakan Tabel 2.

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

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

$$S_{Log} = 0.1793$$

**Tabel 2. Perhitungan Outlier Data Hujan Stasiun Kayuwatu**

No.	Tahun	Xi (mm)	Log Xi	$(\log X_i - \overline{\log X})$	$(\log X_i - \overline{\log X})^2$	$(\log X_i - \overline{\log X})^3$
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 ( $\overline{\log X}$ )		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**

### 5.3.2 Analisis Curah Hujan Rancangan

Tujuan dari analisis frekuensi curah hujan ini adalah untuk memperoleh curah hujan rancangan untuk beberapa perioda 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 3 berikut ini.

**Tabel 3. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Menggunakan Distribusi Gumbel Tipe I**

T	Y <sub>T</sub>	Sd	Y <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	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 dan tabel yang merupakari fungsi peluang kumulatif dan periode ulang.

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

C<sub>K</sub> = koefisien kurtosis

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

C<sub>v</sub> = koefisien variansi =  $\frac{\sigma}{\mu}$

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

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

**Tabel 4. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Menggunakan Distribusi Log Normal Dua Parameter**

T	P	k	Log X	X (mm)
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

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

$C_s$  = koefisien kepeccengan

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

$C_k$  = koefisien kurtosis

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

**Tabel 5. 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

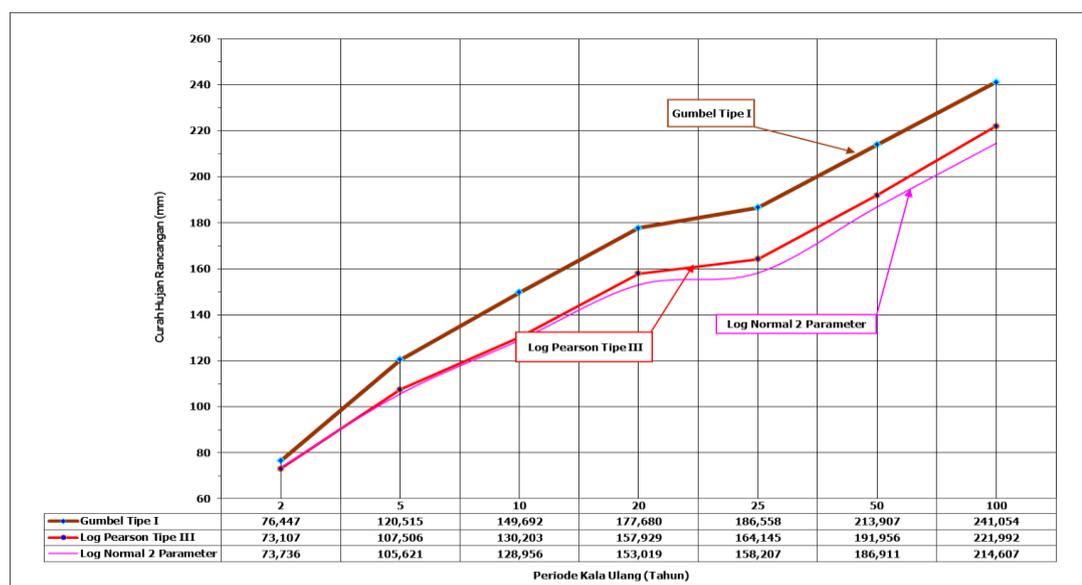
#### 4. Rekapitulasi Curah Hujan Rancangan Untuk Tiap Jenis Distribusi

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 6. 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

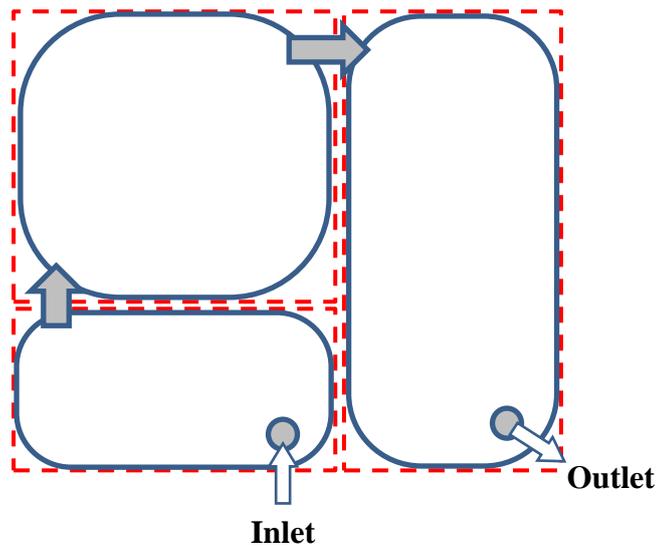
Sumber: Hasil Perhitungan



**Gambar 3 : Hasil Analisis Perhitungan Curah Hujan Rancangan Harian**

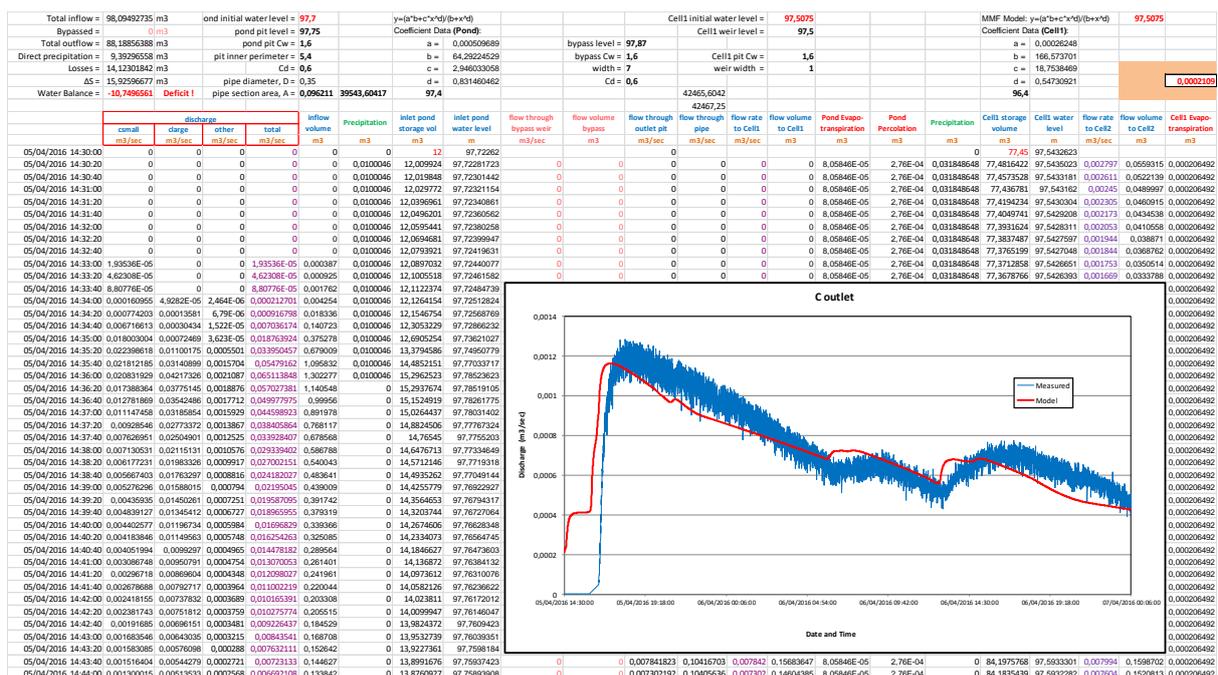
## 5.4 Pemodelan Simulasi Komputer

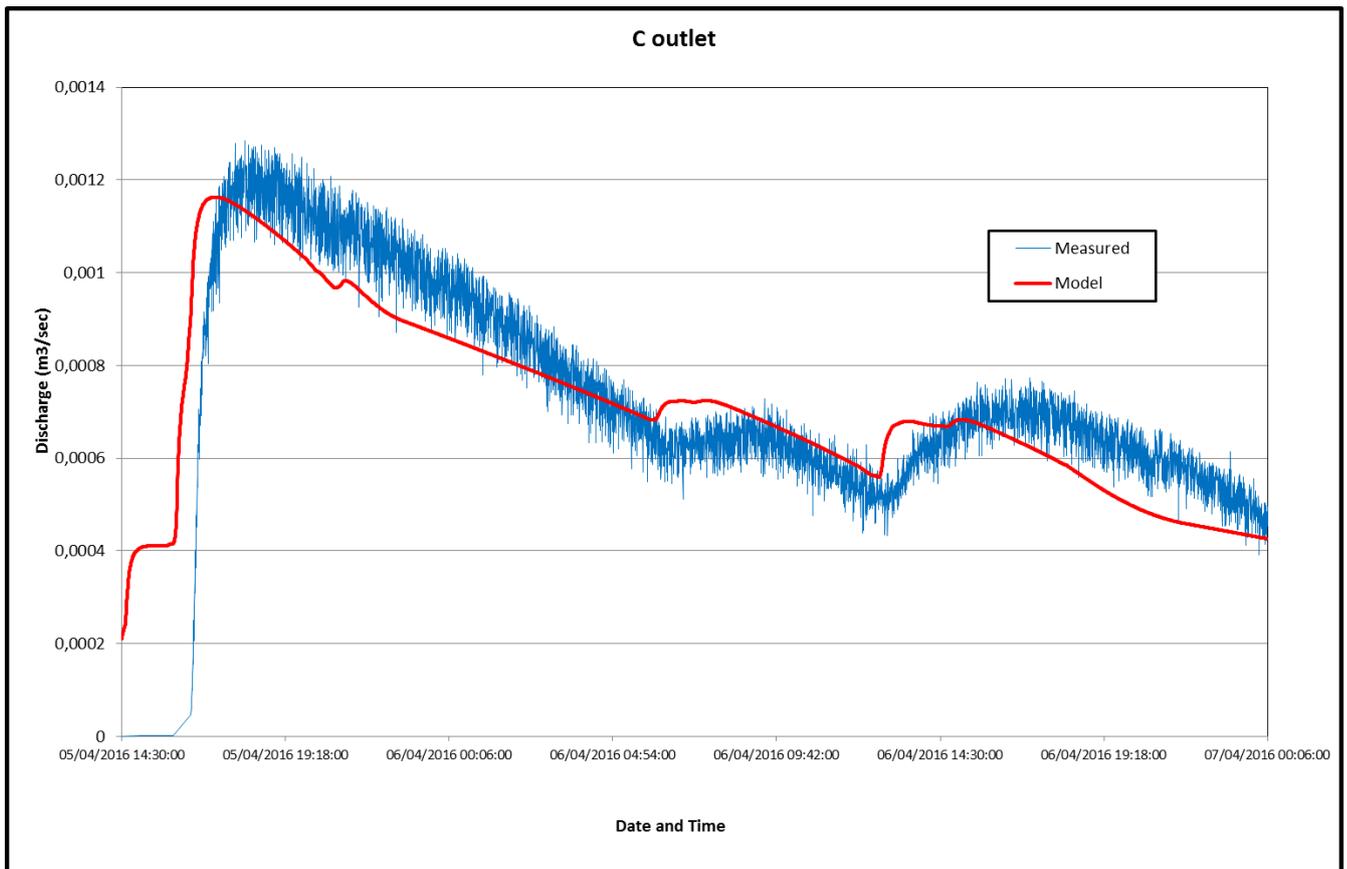
Simulasi komputer dilakukan terhadap hidrograf runoff untuk mengetahui proses hidrolika selama runoff tersebut mengalir dalam rawa buatan rencana. Berbagai konfigurasi rawa buatan telah dipertimbangkan berdasarkan studi literature, sehingga pada akhirnya konfigurasi yang diusulkan dalam penelitian ini dianggap merupakan konfigurasi yang sesuai untuk Wilayah Manado. Konfigurasi yang direkomendasikan adalah seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 4: Konfigurasi Wetland Rencana

### Pemodelan dengan Excel

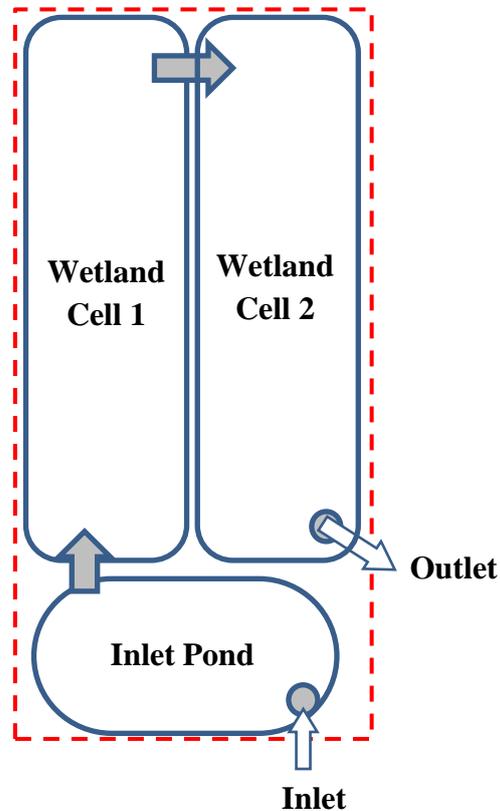




## 5.5 Konfigurasi dan Dimensi Optimal Rawa Buatan untuk Wilayah Manado

Simulasi komputer menghasilkan indikator desain dan kapasitas Constructed Wetland/ Rawa Buatan disesuaikan dengan sifat-sifat hujan di wilayah Manado. Secara garis besar ada 2 (dua) indikator yang diperoleh yaitu bentuk konfigurasi Rawa Buatan yang sesuai untuk Wilayah Manado dan Dimensi Rawa Buatan terhadap luas daerah tangkapan hujan (catchment area) yang dilayani.

Setelah dicoba dengan berbagai konfigurasi yang memungkinkan, maka didapat konfigurasi yang paling optimal, yang memberikan residence time yang cukup untuk terjadinya proses stormwater treatment (penjernihan runoff) disatu sisi memberikan kapasitas efektif hidrolika (hydraulic effectiveness) yang cukup besar. Konfigurasi Rawa Buatan yang optimal tersebut diberikan pada Gambar 5.



**Gambar 5: Konfigurasi Rawa Buatan yang Optimal**

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa proporsi luas wetland terhadap daerah tangkapan hujan (catchment area) yang dilayaninya yang memberikan hasil yang optimal dan efektif adalah sebagai berikut:

Proporsi inlet pond terhadap luas catchment : 0,2 %

Proporsi wetland cell terhadap luas catchment: : 1,3 %

Dengan demikian untuk setiap 1 ha luas catchment dibutuhkan 20 m<sup>2</sup> inlet pond dan 130 m<sup>2</sup> wetland cell, sehingga jumlah luas total wetland yang dibutuhkan adalah 150 m<sup>2</sup>.

## **BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **6.1 Kesimpulan**

Constructed Wetland (Rawa Buatan) dapat dimanfaatkan sebagai komponen drainase berwawasan lingkungan di Wilayah Manado dengan beberapa modifikasi terhadap pemanfaatannya di negara beriklim sub tropis. Pola hujan yang berbeda menyebabkan konfigurasi wetland yang optimum sedikit berbeda serta dimensi proporsi komponen wetland yang sedikit lebih besar, baik untuk inlet pond-nya maupun untuk cell-cellnya. Konfigurasi yang optimum diperlihatkan pada Gambar 5, sedangkan proporsi luas inlet pond dan wetland cell terhadap luas catchment area berturut-turut sebesar 0,20 % dan 1,30 %. Dengan demikian proporsi total luas wetland terhadap catchment area adalah 1,5 %.

### **6.2 Saran**

Konfigurasi dan proporsi luas wetland terhadap catchment area seperti yang diberikan pada sub bab 6.1 dapat diterapkan di Wilayah Manado, dan dapat diadopsi oleh regulator menjadi standar desain perencanaan Constructed Wetland (Rawa Buatan) untuk digunakan pada sistem drainase yang berwawasan lingkungan (Eko-drainase)

## LAMPIRAN 1: FOTO-FOTO KEGIATAN PENELITIAN







KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SAM RATULANGI  
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Alamat : Kampus UNSRAT Manado  
Telp. (0431) 827560, Fax. (0431) 827560

Email: [lppm@unsrat.ac.id](mailto:lppm@unsrat.ac.id) Laman: <http://lppm.unsrat.ac.id>

## SURAT TUGAS

Nomor: 621/UN12.13/LT/2016

Ketua Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Sam Ratulangi Manado, dengan ini menugaskan kepada:

1. Nama : Ir. Isri Ronald Mangangka, M.Eng, PhD (Ketua)  
NIP : 19650924 199303 1 003  
Pangkat Gol. : Pembina/IVa  
Jabatan : Lektor Kepala
2. Nama : Ir. Eveline Maria Wuisan, MSc  
NIP : 19530809 198203 2 001  
Pangkat Gol. : Pembina Tingkat I/IVb  
Jabatan : Lektor Kepala

untuk melaksanakan penelitian skim Riset Unggulan Unsrat (RUU), yang di danai oleh dana PNBPN UNSRAT tahun 2016 dengan judul "*Studi Pemanfaatan "Constructed Wetland" (Rawa Buatan) Sebagai Komponen Eko-Drainase Sesuai Sifat-Sifat Hujan Di Wilayah Manado*".

Demikian surat tugas ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Manado, 27 April 2016

Ketua,



Inneke F.M. Rumengan

NIP : 195711051984032001