

# JURNAL GRADASI TEKNIK SIPIL

P-ISSN NO. 2598-9758 E-ISSN NO. 2598-8581

VOL. 5, NO. 1, JUNI 2021



Diterbitkan oleh  
Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat  
Politeknik Negeri Banjarmasin  
bekerjasama dengan  
Jurusan Teknik Sipil - Politeknik Negeri Banjarmasin

# **POLITEKNIK NEGERI BANJARMASIN**

Jurnal Gradasi Teknik Sipil diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri Banjarmasin. Ruang lingkup makalah meliputi Bidang Teknik dan Manajemen dengan konsentrasi Bidang Transportasi, Geoteknik, Struktur, Keairan dan Manajemen Konstruksi. Isi makalah dapat berupa penyajian isu aktual di bidang Teknik Sipil, review terhadap perkembangan penelitian, pemaparan hasil penelitian, dan pengembangan metode, aplikasi, dan prosedur di bidang Teknik Sipil. Makalah ditulis mengikuti panduan penulisan.

## **Penanggung Jawab**

Nurmahaludin, ST, MT.

## **Dewan Redaksi**

Ketua : Dr. Fitriani Hayati, ST, M.Si.  
Anggota : Riska Hawinuti, ST, MT.  
Nurfitriah, S.Pd, MA.  
Kartini, S.T, M.T  
Mitra Yadiannur, M.Pd

## **Reviewer**

Dr. Ir. Yanuar Jarwadi Purwanto, MS. (Institut Pertanian Bogor)  
Dr. Ir. M. Azhar, M. Sc. (Institut Sains dan Teknologi Nasional)  
Dr. Ir. Endang Widjajanti, MT. (Institut Sains dan Teknologi Nasional)  
Joni Irawan, ST, MT. (Politeknik Negeri Banjarmasin)  
Yusti Yudiawati, ST, MT. (Politeknik Negeri Banjarmasin)  
Dr. Astuti Masdar, ST, MT. (Sekolah Tinggi Teknologi Payukumbuh)

## **Editing dan Tata Bahasa**

Nurfitriah, S.Pd., MA.

## **Desain dan Tata Letak**

Abdul Hafizh Ihsani

## **Alamat Redaksi**

Jurusan Gradasi Teknik Sipil Politeknik Negeri Banjarmasin, Jl. Brigjen H. Hasan Basri 70123 Banjarmasin Telp/Fax 0511-3307757; Email: gradasi.tekniksipil@poliban.ac.id

## JURNAL GRADASI TEKNIK SIPIL

### DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
PERBANDINGAN ANGGARAN BIAYA (RAB) PELAT LANTAI KONVENSIONAL DENGAN PELAT LANTAI KOMPOSIT (BONDEK) <i>Aunur Rafik, Sahlan Hadi, Rinova Firman Cahyani</i>	1-12
EVALUASI PEMODELAN BANJIR 2-D KOTA MANADO <i>Aris Rinaldi, Dasniari Pohan, Idham Riyando Moe, Reza Adhi Fajar</i>	13-21
REVIEW DESAIN PERKERASAN JALAN RAY III KABUPATEN PULANG PISAU PROVINSI KALIMANTAN TENGAH <i>Khamidi Ilhami, Hadi Gunawan</i>	22-27
PERBANDINGAN BIAYA DAN WAKTU PEKERJAAN DRAINASE ANTARA METODE <i>PRECAST</i> DAN <i>CAST IN SITU</i> <i>Ruspiansyah, Adi Maryanto</i>	28-38
ANALISA PENGEMBANGAN LAHAN PERTANIAN BERDASARKAN NERACA AIR PADA POLDER LIANG MENGGUNAKAN DEBIT ALIRAN PERMUKAAN DENGAN METODE NRECA <i>Fakhrurrazi, M. Fahrudin</i>	39-44
PENGARUH PEMAKAIAN PLASTIK LDPE SEBAGAI SUBSTITUSI ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK <i>MARSHALL</i> HRS-WC <i>Ardi Wiyogo, Andi Syaiful Amal, Alik Ansyori Alamsyah</i>	45-52

# EVALUASI PEMODELAN BANJIR 2-D KOTA MANADO

Aris Rinaldi<sup>1,\*</sup>, Dasniari Pohan<sup>2</sup>, Idham Riyando Moe<sup>3</sup>, Reza Adhi Fajar<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Balai Bendungan, Ditjend SDA, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Indonesia

<sup>2</sup>Direktorat BP-SDA, Ditjend SDA, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Indonesia

<sup>3</sup>Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banjarmasin, Indonesia

\*e-mail: [aris.itb@gmail.com](mailto:aris.itb@gmail.com) (corresponding author)

## Abstrak

Permasalahan banjir Kota Manado merupakan permasalahan utama yang wajib ditangani secara komprehensif. Perubahan tata guna lahan, intensitas curah hujan yang sering dan lama, kapasitas tampung sungai yang mengecil, sedimentasi dan sampah, dan perubahan iklim menjadi penyebab terjadinya banjir di Kota Manado. Penelitian ini menggunakan pendekatan model dua dimensi dengan simulasi efek perubahan tata guna lahan dan efek hujan kala ulang serta observasi banjir guna mencari solusi terhadap permasalahan banjir yang sering terjadi di Kota Manado. Hasil dari penelitian ini adalah terjadi perubahan tata guna lahan dan peningkatan luas area terdampak banjir yang menggenangi Kota Manado, di lain hal kapasitas sungai yang kecil, sehingga pemerintah Kota Manado perlu memperbaiki daerah sempadan sungai yang dipadati dan dihuni oleh masyarakat guna meningkatkan kapasitas aliran air di sungai saat musim hujan dengan intensitas lama dan besar.

**Kata kunci:** banjir, evaluasi banjir, genangan banjir, pemodelan banjir

## Abstract

Flood in Manado is a pivotal problem that must be addressed comprehensively. Land use change, frequent and long rainfall intensity, reduced river capacity, sedimentation and waste, and climate change are the causes of flooding in Manado. This study uses a two-dimensional model approach by simulating the effects of land use change and the effects of rainfall return period and flood observation to find solutions to the problems of flooding that often occur in Manado. The results of this study are land use change and the increase of flood inundation area in Manado, in another case narrow river storage capacity, so that government needs to improve the river border area that inhabited and crowded by citizens in order to increase the capacity of water flow in the river during long and high rainfall intensity.

**Keywords:** flood, flood evaluation, flood inundation, flood modelling

## I. PENDAHULUAN

Banjir merupakan problematika besar yang sering terjadi di berbagai wilayah Indonesia, tidak terkecuali untuk kota Manado. Permasalahan banjir Kota Manado mencapai 20 kali laporan kejadian sejak tahun 2010 (BNPB, 2018). Dalam hal ini, sungai Tondano memiliki potensi kerentanan terhadap resiko banjir di Kota Manado dan wilayah sekitarnya dengan skala yang relatif besar. Hal ini juga telah dibuktikan dalam kasus banjir Manado pada tanggal 15 Januari 2014, dimana sungai tersebut ini meluap yang disebabkan oleh faktor alam

yaitu intensitas curah hujan dengan durasi yang lama. Banjir ini menyebabkan banyak kerugian, baik kerugian materiil maupun non-materiil. Intensitas curah hujan di sini merupakan faktor alam yang tidak dapat dihindari dan menjadi penyebab utama banjir, sehingga perlu dilakukan suatu analisis debit banjir berdasarkan simulasi data curah hujan yang sudah ada. Studi ini bertujuan untuk meninjau evaluasi resiko banjir di kota Manado serta penanganan adaptasinya. Analisis debit banjir yang diketengahkan dalam penelitian ini, didasarkan pada simulasi dan evaluasi data tata guna lahan dan curah hujan secara kuantitatif. Sedangkan

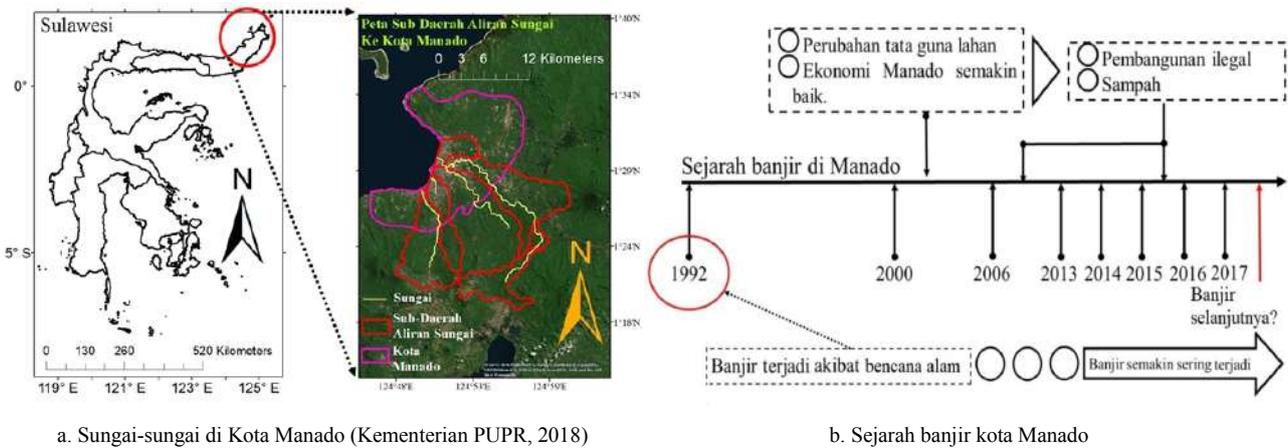
penentuan volume genangan banjir yang terjadi dianalisis dengan menggunakan pemodelan banjir dengan hujan kala ulang sebagai data input.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1. Identifikasi Banjir Kota Manado

Sungai Tondano merupakan sungai ketiga terpanjang di Provinsi Sulawesi Utara (Gambar 1.a), setelah Sungai Poigar dan Sungai Ranoyapo, yang memiliki panjang 39,9 km, luas DAS 544,75 km<sup>2</sup> (BPDAS Manado, 2018), dan bermuara di Teluk Manado. Sungai ini mempunyai peranan penting guna menunjang kehidupan masyarakat Manado, dan wilayah

sekitarnya, yaitu: sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Tonsea Lama serta Tanggari I dan II, sebagai sumber utama air minum untuk masyarakat Kota Manado dan Minahasa (PDAM Manado dan Minahasa, 2018). Terkait resiko kebencanaan yang dapat terjadi akibat meluapnya suangi Tondano ini, kota Manado telah memiliki pengalaman dalam penanganan banjir, seperti kejadian banjir pada tahun 1992, yang murni terjadi akibat bencana alam. Namun demikian, kejadian banjir di Kota Manado semakin sering terjadi dalam kurun waktu 10 tahun terakhir (Gambar 1.b). Lebih dari itu, permasalahan banjir Kota Manado dapat dianalisis secara kuantitatif berdasarkan identifikasi penyebab banjir yang dapat dijelaskan oleh beberapa faktor.

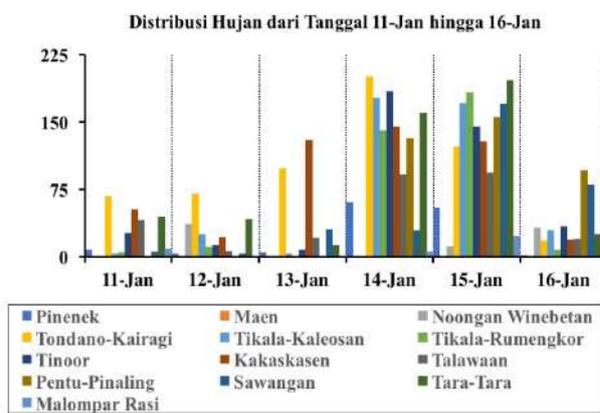


Gambar 1. Kerentanan banjir di kota Manado

#### 2.1.1. Faktor Hujan

Gambar satelit cuaca dengan waktu pengamatan pukul 12.00 UTC (20.00 WITA) tanggal 14 Januari 2014 sampai dengan pukul 00.00 UTC (08.00 WITA) tanggal 15 Januari 2014 memperlihatkan banyak awan hujan terbentuk di wilayah Sulawesi Utara. Sebaran awan mulai terlihat sejak pukul 12.00 UTC dan mengalami peningkatan ketebalan yang signifikan pada jam-jam berikutnya (BMKG Provinsi Sulawesi Utara, 2018). Analisis pengaruh angin yang dilakukan oleh BMKG Provinsi Sulawesi Utara tanggal 14 Januari 2014 memperlihatkan bahwa adanya pusat daerah tekanan rendah di daerah utara Sulawesi Utara. Angin tersebut bertiup dari arah utara lalu berbelok dan bertemu angin dari arah barat di atas wilayah Sulawesi Utara, kemudian bergerak memasuki pusat daerah bertekanan

rendah. Peristiwa ini memberi dampak terbentuknya daerah konvergensi di atas wilayah Sulawesi Utara sehingga terjadi pengumpulan awan dalam jumlah yang besar. Berdasar pada hasil pengamatan curah hujan dari UPT BMKG dan pos kerja sama di wilayah Kota Manado yang terdampak banjir, dapat diinterpretasi bahwa curah hujan dengan intensitas tinggi terjadi pada tanggal 14–15 Januari 2014. Sedangkan pada Gambar 2.a dapat dilihat distribusi curah hujan dari beberapa pos pengamatan sejak tanggal 11–16 Januari 2014. Berdasar gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa hujan maksimum terjadi pada tanggal 14 Januari 2014 dan menjadi penyebab banjir di Kota Manado. Pada Gambar 2.b terdapat 13 lokasi pos curah hujan yang digunakan untuk menganalisis kejadian banjir pada bulan Januari 2014 di Kota Manado.

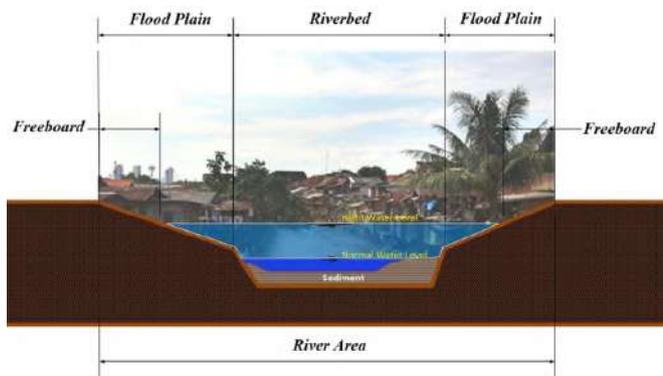


a. Distribusi hujan tanggal 11–16 Januari 2014



b. Pos curah hujan yang digunakan dalam studi

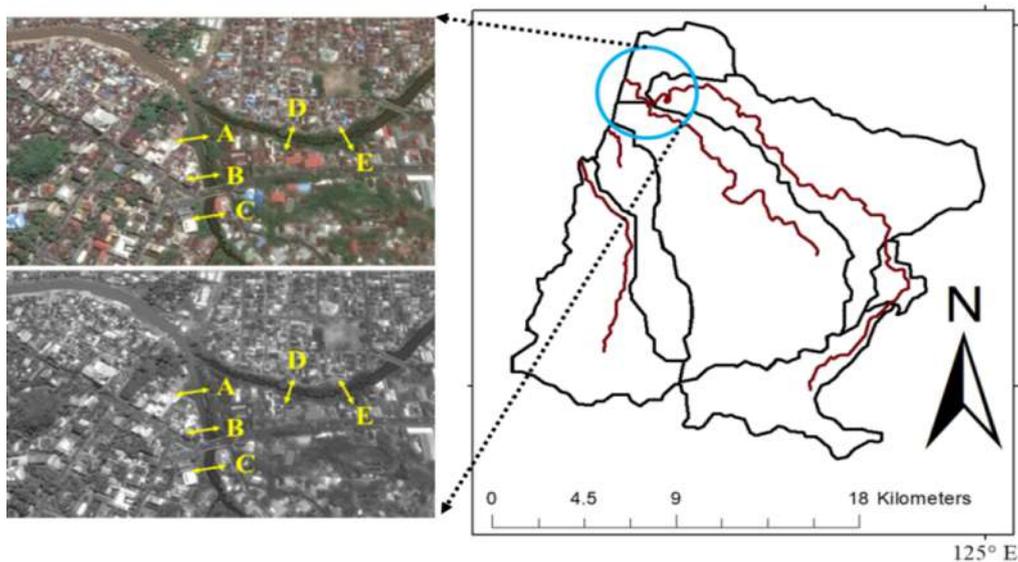
Gambar 2. Lingkup data curah hujan di Kota Manado (Kementerian PUPR, 2018)



a. Ilustrasi penyempitan (BPBD, 2013)



b. Pemukiman di kawasan sempadan sungai



c. Lebar sungai berdasarkan hasil observasi lapangan

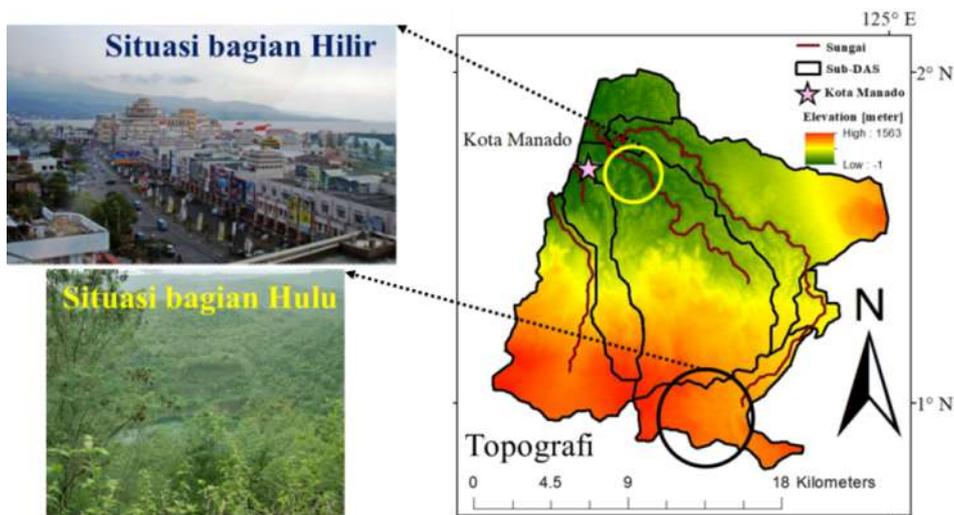
Gambar 3. Penyempitan kapasitas tampung sungai

**2.1.2. Faktor Kapasitas Tampung Sungai**

Kapasitas tampung sungai yang semakin mengecil akan menyebabkan elevasi permukaan air meningkat. Hal ini akan memberikan peluang yang lebih besar untuk air melimpas di Kota Manado. Pada Gambar 3.a dapat dilihat bahwa banyak terdapat penyempitan kapasitas tampung sungai dan saluran di Kota Manado, yang disebabkan oleh perilaku masyarakat. Pada Gambar 3.b dapat dilihat bahwa masyarakat Kota Manado mendirikan bangunan tempat tinggal dan menetap di kawasan sempadan sungai. Berdasar pada hasil kunjungan lapangan dapat ditunjukkan bahwa lebar sungai di Kota Manado relatif sempit, seperti pada lebar sungai lokasi A = 20 m, lokasi B = 13 m, lokasi C = 23 m, lokasi D = 20 m, dan lokasi E = 16 m, tersaji pada Gambar 3.c.

**2.1.3. Faktor Perubahan Tata Guna Lahan**

Perubahan tata guna lahan merupakan salah satu penyebab berubahnya aliran air permukaan akibat berkurangnya kemampuan tanah dalam menyerap aliran air. Perubahan tata guna lahan Kota Manado dan daerah sekitarnya diakibatkan oleh kebutuhan masyarakat akan hunian tempat tinggal yang meningkat sehingga pembangunan perumahan juga meningkat. Hal ini juga berdampak pada semakin meningkatnya pembangunan fasilitas permukiman seperti jalan raya, gedung kantor, gudang, dan lainnya. Menurut Farid, dkk. (2011), Moe, dkk. (2017), volume dan area genangan akan meningkat seiring meningkatnya area urbanisasi.



Gambar 4. Tata guna lahan dan topografi DAS Tondano dan sekitarnya (JAXA, 2018).

**2.1.4. Faktor Sedimentasi dan Sampah**

Jumlah sampah yang meningkat pada sungai dan drainase lokal juga menjadi penyebab banjir di Kota Manado. Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa sampah menumpuk pada sungai di Wanosa, Manado. Akumulasi jumlah sampah di sungai-sungai Kota Manado dapat mengurangi kapasitas tampung dan kemampuan alir sungai-sungai tersebut.

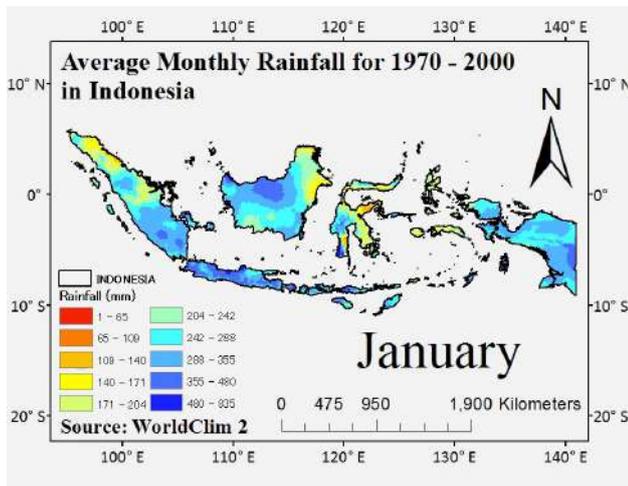


Gambar 5. Situasi sampah di Sungai Wanosa, Kota Manado

**2.1.5. Faktor Perubahan Iklim**

Dari data historikal, curah hujan rata-rata Kota Manado berkisar antara 204–288 mm sejak tahun 1970–2000. Nilai curah hujan tersebut masih cukup kecil jika dibandingkan

dengan curah hujan rata-rata di Pulau Jawa. Pada Gambar 6 dapat dilihat nilai curah hujan rata-rata pada bulan Januari sejak tahun 1970–2000 di Indonesia.



Gambar 6. Curah hujan rata-rata bulan Januari dari tahun 1970–2000 di Indonesia (WorldClim, 2018).

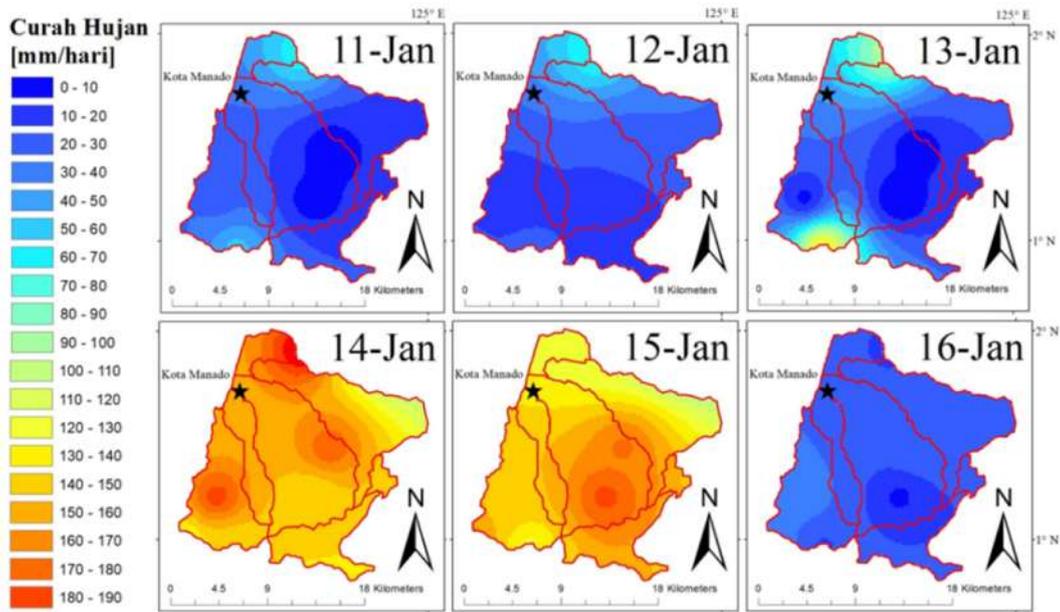
**2.3. Data Pemodelan dan Analisis Curah Hujan**

Data yang digunakan dalam perhitungan, meliputi: (i) data curah hujan bersumber dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Gambar 2.b), (ii) data elevasi dan cross section sungai bersumber dari Japan Aerospace eXploration Agency (JAXA), dengan resolusi 30 meter (Gambar 3.c), (iii) parameter tanah bersumber dari studi yang pernah dilakukan oleh Akabane dkk (2008), (iv) peta tata guna lahan bersumber dari Kementerian Agraria dan Tata Ruang Republik Indonesia (Gambar 9), serta (v) data survey

**2.2. Formulasi Pemodelan Genangan**

Adapun persamaan rumus matematika yang digunakan untuk mengevaluasi banjir Kota Manado berdasarkan beberapa kategori persamaan sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1. Adapun persamaan hujan aliran mengacu pada persamaan Kure dkk, sedangkan model analisis limpasan hujan pada persamaan tersebut dapat mensimulasikan aliran multilayer pada aliran overland, infiltrasi vertikal, aliran tanah jenuh air, dan aliran rembesan tanah tak jenuh air berdasar pada hubungan antara karakteristik morfologi, geologi, dan intensitas curah hujan pada daerah tangkapan perkotaan dan cekungan pegunungan (Kure dkk., 2004). Kemudian, penelusuran banjir di sungai dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum aliran tak tunak (Persamaan Saint-Venant). Pemodelan banjir 2-D diselesaikan secara numerik dengan model banjir pada dataran berdasarkan platform MIKE.

dan observasi lapangan untuk mengetahui kondisi aktual cross section sungai. Dalam hal ini, curah hujan merupakan komponen penting untuk mengevaluasi banjir Kota Manado. Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa kejadian banjir pada tanggal 11–16 Januari 2014 disebabkan oleh tingginya intensitas curah hujan. Adapun curah hujan maksimum terjadi pada tanggal 14–15 Januari 2014 yang menyebabkan banjir dari hulu ke hilir Kota Manado melalui pendekatan metode analisis curah hujan harian *Inverse Distance Weihgted* (IDW).

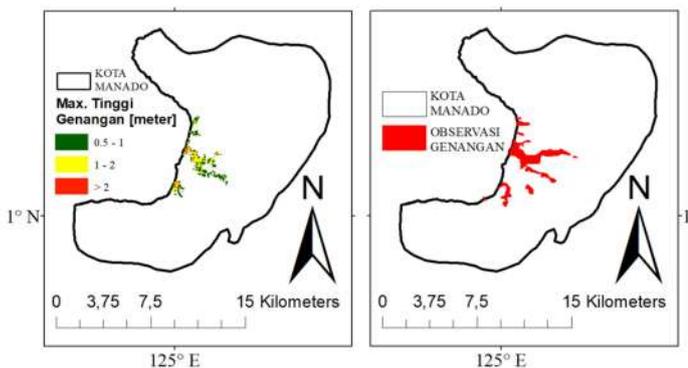


Gambar 7. Distribusi curah hujan sejak tanggal 11–16 Januari 2014 di Kota Manado.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Kalibrasi Genangan Banjir

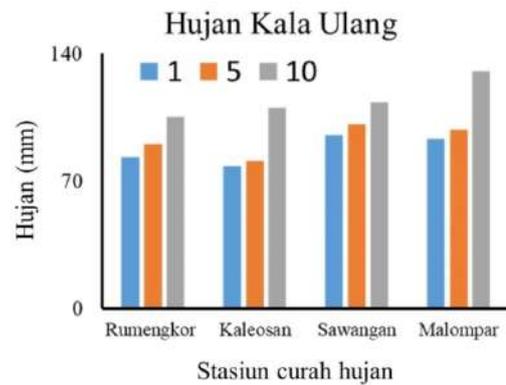
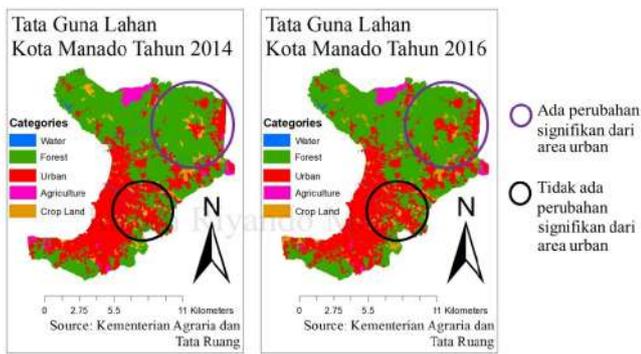
Banjir yang disimulasikan pada studi penelitian ini merupakan banjir pada kejadian tahun 2014 dengan menggunakan peta tata guna lahan tahun 2016. Hal ini berarti, peta yang digunakan merupakan peta terakhir dan aktual dari Kota Manado dan sekitarnya. Peta observasi banjir bersumber dari laporan JICA (2018) yang telah melalui digitasi ulang. Berdasar pada Gambar 8., hasil simulasi banjir erat hubungannya dengan hasil observasi banjir. Hal ini dapat diartikan bahwa hasil simulasi dan observasi terkalibrasi. Selain itu, dapat dilihat bahwa kondisi aliran air di pusat Kota Manado berada pada ketinggian 1–2 m, kondisi ini sesuai dengan kejadian banjir Kota Manado pada tahun 2014.



Gambar 8. Hasil kalibrasi simulasi banjir (kiri) dan observasi banjir (kanan).

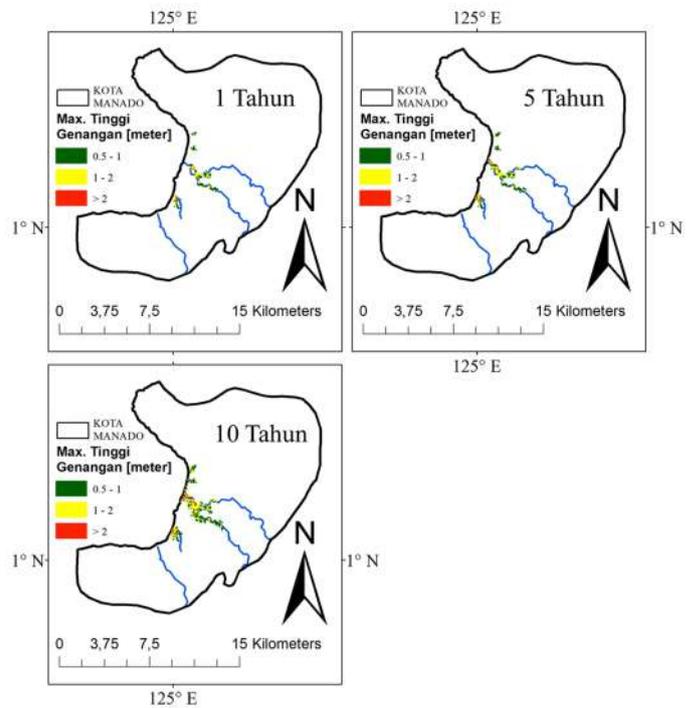
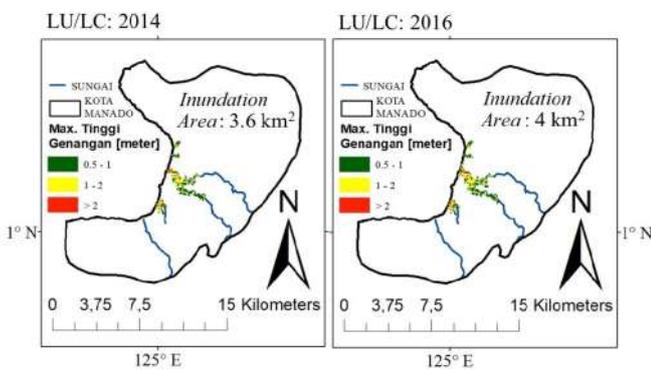
#### 3.2. Efek Tata Guna Lahan

Efek tata guna lahan dievaluasi untuk mendapatkan simulasi efek perubahan tata guna lahan terhadap banjir dengan menggunakan pemodelan banjir yang telah dikalibrasi. Perbandingan tata guna lahan pada tahun 2014 dan 2016 di Kota Manado tersaji pada Gambar 9.a. Luas area urban pada tahun 2014 adalah 46 km<sup>2</sup> dan luas area urban pada tahun 2016 adalah 51 km<sup>2</sup>. Luas area urban meningkat sebesar 13,3% dalam kurun waktu 2 tahun. Hal ini berarti, terjadi perubahan tata guna lahan namun tidak signifikan. Perubahan tata guna lahan relatif terjadi pada daerah urban di utara-timur Kota Manado. Pemodelan banjir menggunakan data tata guna lahan tahun 2014 dan 2016 dengan model yang telah dikalibrasi, tersaji pada Gambar 9.b. Berdasar pada Gambar 9.b tersebut, dapat ditunjukkan bahwa luas area genangan meningkat sebesar 11,1% dari tahun 2014 hingga 2016. Hal ini berarti, terjadi peningkatan luas area genangan namun tidak signifikan akibat adanya perubahan dari area urban di DAS Kota Manado dan daerah hulunya. Perubahan tata guna lahan mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap air, nantinya berpengaruh pada nilai konduktivitas hidrolik tanah akibat distribusi kadar air (Rinaldi dkk., 2017). Pada studi penelitian ini, periode data tata guna lahan yang digunakan sangat berdekatan, yaitu tahun 2014 dan 2016. Kapasitas tampung sungai relatif kecil untuk mengaliri air yang berasal dari hulu sehingga meningkatkan potensi banjir di sepanjang daerah aliran hingga ke hilir sungai.



a. Perubahan tata guna lahan Kota Manado (Kementerian ATR/BPN, 2018).

a. Hujan kala ulang pada beberapa pos curah hujan di Kota Manado.



b. Efek perubahan tata guna lahan terhadap banjir Kota Manado.

b. Simulasi banjir dengan hujan kala ulang 1, 5, dan 10 tahunan.

Gambar 9. Perubahan tata guna lahan tahun 2014 dan 2016 dan pengaruhnya terhadap banjir Kota Manado.

Gambar 10. Hujan kala ulang dan Simulasi banjir.

### 3.3. Efek Hujan Kala Ulang

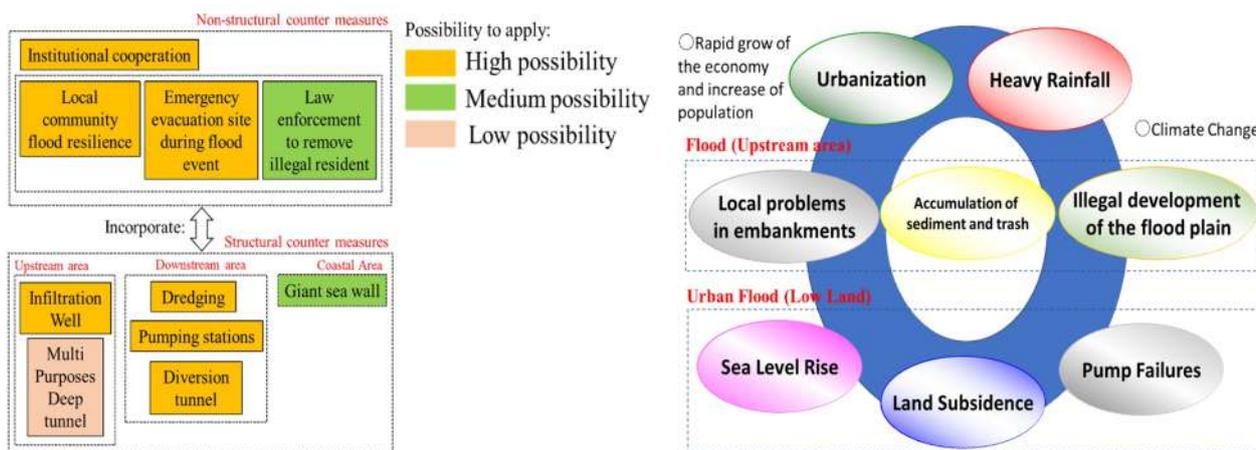
Efek hujan kala ulang terhadap banjir dievaluasi secara kuantitatif menggunakan pemodelan dua dimensi dengan periode ulang 1, 5, dan 10 tahunan pada beberapa pos curah hujan di Kota Manado. Berdasar pada Gambar 10.a, rata-rata hujan kala ulang 10 tahun adalah 114,5 mm, yang memiliki kesamaan kondisi dengan kejadian banjir pada tahun 2014 di Kota Manado. Hujan kala ulang pada Gambar 10.a digunakan dalam pemodelan banjir dua dimensi dimana hasilnya berupa peta rawan banjir Kota Manado. Dan berdasar pada Gambar 10.b, hasil simulasi banjir menghasilkan luas genangan sebesar 1,8 km<sup>2</sup>, 2,6 km<sup>2</sup>, dan 4 km<sup>2</sup> untuk kala ulang 1, 5, dan 10 tahunan. Hasil simulasi banjir merepresentasikan peningkatan luas area banjir pada area terdampak sehingga hasil studi penelitian ini sangat merekomendasikan penataan kawasan bencana banjir Kota Manado guna mereduksi bencana banjir yang mungkin terjadi di masa yang akan datang.

### 3.4. Penanganan Adaptasi dan Pemetaan Kesimpulan

Berdasar pada hasil evaluasi efek perubahan tata guna lahan dan efek hujan kala ulang terhadap penyebab permasalahan banjir yang dilakukan secara kuantitatif dengan pemodelan banjir dua dimensi, banjir yang terjadi di Kota Manado memiliki daerah terdampak yang cukup besar sehingga pemerintah Kota Manado dan instansi terkait harus memiliki rencana penanganan adaptasi, baik struktural maupun non-

struktural, guna mereduksi dampak banjir di Kota Manado. Konsep penanganan adaptasi tersaji pada Gambar 11.a berdasar hasil evaluasi secara kuantitatif dengan pemodelan banjir dua dimensi. Sedangkan evaluasi efek perubahan tata guna lahan di Kota Manado dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan pemodelan banjir dua dimensi (Gambar 11.b). Dari hasil evaluasi ini dapat disimpulkan bahwa terjadi perubahan tata guna lahan yang tidak signifikan.

Namun, perubahan tata guna lahan di masa yang akan datang berpotensi meningkatkan volume dan area terdampak banjir. Selain itu, juga dilakukan simulasi banjir dengan kala ulang hujan periode 1, 5, dan 10 tahunan secara kuantitatif dengan menggunakan pemodelan banjir dua dimensi. Dari simulasi banjir periode kala ulang dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan luas area terdampak banjir yang menggenangi Kota Manado.



a. Penanganan adaptasi untuk mereduksi dampak banjir.

b. Pemetaan kesimpulan permasalahan banjir.

Gambar 11. Skema evaluasi masalah banjir di kota Manado.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil studi evaluasi efek perubahan tata guna lahan dan simulasi banjir dengan kala ulang hujan, pemerintah Kota Manado direkomendasikan untuk memperbaiki daerah sempadan sungai yang dipadati dan dihuni oleh masyarakat, baik secara legal maupun ilegal. Kondisi sungai Kota Manado memiliki kapasitas tampung yang relatif kecil dalam mengaliri aliran air saat hujan deras atau durasi hujan yang lama sehingga dengan memperbaiki kawasan sempadan sungai dapat meningkatkan kapasitas tampung aliran air di sungai pada musim hujan dengan intensitas besar atau lama. Perlu dilakukan studi penelitian sedimentasi lebih lanjut guna mengetahui situasi sedimentasi dan kapasitas tampung pada sungai di Kota Manado.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Subdirektorat Hidrologi dan Lingkungan Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat serta pihak-pihak yang terlibat dalam penyelesaian paper ini.

#### REFERENSI

-----, BMKG Provinsi Sulawesi Utara. 2018. Unpublished report.

-----, BNPB. (2018). [Online] Tersedia: <http://bnpb.cloud/dibi/tabel1a> [13 September 2018].

-----, BPBD. 2013. Unpublished report.

-----, BPDAS Manado. 2018. Unpublished report.

Akabane Y., S. Kure dan T. Yamada. 2008. Field Observation of Discharge in Urban Catchments and Effects of Urbanization on Runoff Characteristics, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE Vol. 52, pp 48-486.

Farid, M., Mano, A., dkk. 2011. Distributed Flood Model for Urbanization Assessment in A Limited-Gauged River Basin. WIT Transactions on Ecology and The Environment, WIT Press (146). p 83-94.

Japan Aerospace eXploration Agency (JAXA). 2018. Unpublished report.

JICA. 2018. Unpublished report.

Kementerian Agraria dan Tata Ruang. 2018. Unpublished report.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2018. Unpublished report.

Kure, S., T. Yamada dan H. Kikkawa. 2004. A Study on Multilayer Runoff Analysis Method Considering the Generation of Overland Flow, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 49, pp 169-174.

MIKE by DHI. (2018). [Online]. Tersedia: <https://www.mikepoweredbydhi.com/> [13 September 2018].

Moe, I. R., Kure, S., dkk. 2017. Development of a Rainfall Runoff and Flood Inundation Model for Jakarta, Indonesia, and Its Sensitivity Analysis of Datasets to Flood Inundation. World Environmental and Water Resources Congress, Sacramento, California, USA. 21–25 Mei, 2017.

PDAM Manado dan Minahasa. 2018. Unpublished report.

Rinaldi, A., Widodo, L. E., dan Fajar, R. A. 2017. Konduktivitas Hidrolik Material Setara Lanau Pada Tanah Tak Jenuh Air. Prosiding Kongres dan Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-2 Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. 13–15 September 2017.

WorldClim. (2018). Global Climate Data [Online] <http://worldclim.org/> [13 September 2018].

Tabel 1. Formulasi Pemodelan Banjir

No.	Kategori	Persamaan
1.	Persamaan Hujan Aliran (Kure dkk, 2004)	
	a. Kondisi <i>surface flow</i>	$\frac{dq_s}{dt} = \alpha_s q_s^{\beta_s} (r(t) - q_0 - q_s)$
	b. Kondisi <i>subsurface flow</i>	$\frac{dq_*}{dt} = \alpha_0 q_*^{\beta} (q_0 - q_*)$
	c. Kondisi <i>vertical infiltration flow</i>	$\frac{dq_0}{dt} = (r(t) - q_0) \frac{q_0 - K_s}{h_s + h_k} - \frac{q_0}{(\theta_s - \theta_i) K_s} \frac{(q_0 - K_s)^2}{(h + h_k)}$
d.	Kondisi <i>surface water depth</i>	$\frac{dh}{dt} = r(t) - q_0 - q_s$
2.	Persamaan Hidrodinamik	
	a. Kontinuitas	$\frac{dA}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l$
b.	Momentum	$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 g Q  Q }{AR^{4/3}} = 0$
3.	Persamaan 2-D Pemodelan Banjir	
	a. Platform 1	$\frac{dh}{dt} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$
	b. Platform 2	$\frac{dp}{dt} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 - h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] = 0$
c. Platform 3	$\frac{dq}{dt} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gq \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 - h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] = 0$	