ANALISIS SPASIAL TERHADAP TINGKAT KERAWANAN BANJIR KAWASAN SUNGAI BRINGIN MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI LIDAR DAN SIG

Sintauli Manullang[*)], Yudo Prasetyo, Nurhadi Bashit

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : shintaulim97@gmail.com

ABSTRAK

Semarang sebagai ibukota Provinsi Jawa Tengah mengalami perkembangan pembangunan yang cepat setiap tahunnya. Pesatnya pembangunan menyebabkan semakin banyak resapan air yang tertutup oleh jalan dan bangunan, sehingga air yang meresap ke dalam tanah semakin berkurang. Kota Semarang menjadi langganan banjir sehingga beberapa wilayah juga terkena dampaknya. Khususnya daerah DAS Bringin, wilayah tersebut sering meluap saat terjadi hujan dimana debit air yang melewati sungai melampaui tampungan air hujan masuk semestinya. Penelitian ini menggunakan *software* HEC-HMS 3.6 dalam pembuatan debit banjir rencana. Penelitian ini membutuhkan beberapa yang digunakan pada tahap pembuatan debit rencana diantaranya data curah hujan 10 tahun terakhir, untuk mendapatkan nilai CN dan *Impervious* digunakan peta jenis tanah, peta tata guna lahan dan peta kontur. Data debit menggunakan nilai debit *outflow* pada *Junction 4 d*alam pemodelan banjir. *Junction 4* merupakan titik pertemuan antara 2 sungai yaitu Sungai Bringin dan Gondoryo yang hilirnya bermuara pada Pantai Utara Laut Jawa. Pada pemodelan banjir peneliti menggunakan *software* HEC-RAS 5.0.5. Parameter yang digunakan dalam *software* ini adalah nilai koefisien Manning, geometri data, debit rencana dan *terrain*. *Terrain* yang digunakan dalam penelitian ini adalah DTM yang berasal dari data LIDAR. Jika pemodelan berhasil, maka genangan dari hasil pemodelan akan di delineasi untuk mendapatkan kedalaman genangan dan luas genangan pada daerah yang terkena dampak banjir. Hasil akhir penelitian ini didapatkan besaran debit rencana banjir pada kala ulang 2 tahun, 5 tahun dan 10 tahun selalu meningkat. Debit maksimum yang dihasilkan pada Q2 tahun adalah 36,4 m^3/s, sedangkan pada Q5 tahun adalah 87,1 m^3/s dan pada Q10 tahun adalah 147 m^3/s. Berdasarkan Peraturan Kepala BNPB No. 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, banjir dibagi kedalam 3 tingkat. Melalui hasil pemodelan banjir, genangan terluas pada kala ulang Q2 tahun, Q5 tahun dan Q10 tahun yang paling mendominasi terkena banjir adalah Kelurahan Mangunharjo.

Kata Kunci: Banjir, CN, HEC-HMS, HEC-RAS, *Impervious*, LIDAR.

ABSTRACT

Semarang as the provincial capital of Central Java experiences rapid development every year. The rapid development has caused more water absorption area were covered by roads and buildings, so that the water that seeps into the soil decreases. The city of Semarang became a flood regular that affected several regions. Particularly the Bringin watershed area, this area often overflows in the event of rain where the flow of water passing through the river exceeds the limit of rainwater inflow. This research uses HEC-HMS 3.6 software for making planned flood discharge. This research requires several data for making the discharge plan including rainfall data for the last 10 years, to obtain CN values and Impervious used soil type maps, land use maps and contour maps. The discharge data uses the outflow discharge value at Junction 4 in flood modeling. Junction 4 is a meeting point between two rivers, the Bringin and Gondoryo Rivers, which downstream lead to the North Coast of the Java Sea. In the flood modeling researchers used HEC-RAS 5.0.5 software. The parameters used in this software are Manning coefficient, data geometry, plan discharge and terrain. The terrain used in this study is DTM derived from LIDAR data. If the modeling is successful, then the pool of the modeling results will be delineated to obtain the inundation depth and inundation area in the flood affected area. The final result of this study found that the amount of discharge planned for floods at the time of 2 years, 5 years and 10 years is always increasing. The maximum discharge produced in Q2 year is 36.4 m3 / s, while in Q5 year is 87.1 m3 / s and in Q10 year is 147 m3 / s. Based on the Head of BNPB Regulation No. 02 of 2012 concerning General Guidelines for Disaster Risk Assessment, floods are divided into 3 levels. Through the results of flood modeling, the largest inundation at the time of Q2 year, Q5 years and Q10 years which most dominated the floods were Mangunharjo urban Village.

***Key Words**: CN, Flood, HEC-HMS, HEC-RAS , Impervious, LIDAR.*

[*)] Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Kota Semarang merupakan salah satu kota terbesar dari lima ibukota yang ada di Indonesia. Semarang sebagai ibukota provinsi Jawa Tengah mengalami perkembangan dan pembangunan yang cepat setiap tahunnya. Pertumbuhan dan pembangunan Kota Semarang meliputi perubahan fungsi lahan untuk berbagai kebutuhan seperti pemukiman, lahan industri, sarana prasarana dan penggunaan lahan untuk keperluan lainnya.

Akibat pesatnya pembangunan tersebut maka semakin banyak resapan air yang tertutup oleh jalan dan bangunan, sehingga air yang meresap ke dalam tanah semakin berkurang. Kota Semarang menjadi langganan banjir saat musim penghujan dan beberapa wilayah juga terkena dampaknya. Khususnya DAS (Daerah Aliran Sungai) Bringin, DAS Bringin terletak di atas DAS Tugu sering meluap saat terjadi hujan dimana debit air yang melewati sungai melampaui tampungan air hujan masuk semestinya. Pada tanggal 05 Febuari 2018 terjadi banjir di Sungai Bringin dalam surat kabar elektronik Solopos (Rahmat Wibisono, 2018), sungai ini terletak di DAS Bringin dan bermuara ke Laut Jawa saat terjadi banjir beberapa daerah yang dilewati Sungai Bringin terkena dampaknya khususnya daerah Kecamatan Tugu seperti Kelurahan Mangkang Wetan dimana sekolah, beberapa fasilitas umum dan pemukiman warga menjadi sasarannya. Jika dilihat dari sisi topografi, Semarang bagian bawah memiliki daerah topografi yang rendah bahkan hampir sama dengan ketinggian permukaan air laut rerata hal ini tentu saja menjadi salah satu penyebab yang membuat kawasan Semarang bagian bawah sering terkena banjir. Peta kerawanan banjir akan membantu masyarakat dalam melakukan perencanaan untuk mengatasi dampak saat sebelum terjadi banjir jika perencanaan penanggulangan banjir kurang terencana akan menimbulkan kerugian yang besar bagi masyarakat. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk melakukan perencanaan demi mengurangi dampak yang akan ditanggung sebagai bentuk akibat dari terjadinya banjir tersebut.

Pada penelitian sebelumnya kajian mengenai pemodelan banjir pada daerah Sungai Bringin sudah terlebih dahulu dilakukan oleh beberapa peneliti seperti (Suharyanto dkk, 2014) dimana penelitian tersebut juga menggunakan perangkat lunak dari United States Corps of Engineers yaitu HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System)*, dan HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) dengan menggunakan data pengukuran topografi dengan pemodelan satu dimensi (1D) sedangkan pada penelitan ini bertujuan untuk melakukan pemanfaatan metode kombinasi LIDAR *(Light Detection and Ranging)* dan SIG (Sistem Informasi Geografis) secara dua dimensi (2D). LIDAR merupakan teknologi pemetaan dengan sinar laser yang digunakan untuk mendapatkan bentuk topografi bumi dengan ketelitian tinggi. Hasil dari akuisisi LIDAR sendiri adalah *points cloud* yang dapat dibentuk menjadi *Digital Surface Model* (DSM). Model DSM dapat diturunkan menjadi model *Digital Terrain Model* (DTM) yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan khususnya di bidang pemetaan. DTM yang terbentuk dapat dijadikan sebagai parameter pembentuk topografi bumi, yang akan kemudian digunakan sebagai data masukan untuk pemodelan banjir. Parameter lain yang dibutuhkan adalah data curah hujan, peta penggunaan lahan, peta aliran sungai, pasang surut air laut dan beberapa parameter lainnya yang kemudian akan diolah menggunakan HEC-HMS dan HEC-RAS.

Hasil penelitian ini adalah peta kerawanan banjir kawasan Sungai Bringin. Peta yang dihasilkan tersebut akan memuat peramalan banjir dengan debit rencana Q_2 (Debit 2 tahun), Q_5 (Debit 5 tahun) dan Q_{10} (Debit 10 tahun). Hasil dari simulasi debit rencana tersebut dilakukan *overlay* menggunakan foto udara sehinga didapatkan luasan banjir dan ke dalaman genangan banjir. Tujuan dari penelitian ini untuk masyarakat adalah menyusun bahan kajian dalam pemilihan lokasi hunian agar terhindar dari ancaman banjir, sedangkan untuk pemerintah adalah agar pemerintah bisa melakukan perencanaan yang baik untuk daerah DAS Bringin sehingga dapat mengurangi daerah yang akan terkena dampak banjir.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana perbedaan debit yang dihasilkan untuk pemodelan banjir simulasi Q_2 (Debit 2 tahun), Q_5 (Debit 5 tahun) dan Q_{10} (Debit 10 tahun) ?
2. Bagaimana tingkat kerawanan banjir berdasarkan Peraturan Kepala BNPB No. 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana pada simulasi Q_2 (Debit 2 tahun), Q_5 (Debit 5 tahun) dan Q_{10} (Debit 10 tahun) ditinjau dari penggunaan lahan dan kedalaman banjir yang terjadi di daerah pemodelan banjir ?

I.3 Pembatasan Masalah

Penjelasan umum mengenai permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini dan agar tidak terlalu jauh dari yang penulis paparkan, maka pembahasan akan dibatasi pada hal-hal berikut ini :

1. Lokasi Penelitian berada di pada DAS Bringin dimana sungai tersebut juga melewati daerah DAS Tugu yaitu Sungai Bringin Pemodelan dilakukan di titik pertemuan 2 sungai yang ada di DAS Bringin sampai ke hilir yaitu antara Sungai Gondorio dan Sungai Bringin.
2. Sungai yang digunakan adalah sungai Bringin sepanjang hal ini dilakukan karena keterbatasan data baik data LIDAR dan data Foto Udara dimana kedua data tersebut tidak mencakup kedua DAS secara keseluruhan.
3. Data LIDAR dan foto udara yang digunakan merupakan data akuisisi tahun 2014 dari PT. Karvak Nusa Geomatika.
4. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam penelitian ini antara lain

curah hujan, pola penggunaan lahan, pola jenis tanah, koefisien Manning, batas DAS, batas sub-DAS dan pasang surut air laut.

5. Pembuatan Sub-DAS pada DAS Bringin menggunakan peta kontur dan *software* AutoCAD Civil 3D.
6. Pemodelan banjir pada *software* HEC-HMS digunakan untuk mendapatkan data hidrograf dan debit rencana banjir untuk Q_2, Q_5 dan Q_{10} menggunakan data stasiun curah hujan selama 10 tahun yaitu tahun 2007-2016. Stasiun yang digunakan merupakan stasiun yang berpengaruh pada DAS Bringin yaitu Stasiun hujan Langenharjo, Stasiun hujan Gunung Pati dan Stasiun hujan Mangkang Waduk.
7. Debit maksimum dihasilkan dengan perhitungan *software* AProb 4.1.
8. *Software* HEC-RAS 5.0.5 digunakan untuk melakukan simulasi pemodelan banjir pada daerah kajian yang dipilih.
9. Pada pemodelan ini menggunakan data pasang surut air laut, karena pemodelan DAS Bringin dipengaruhi oleh pasang surut air laut yang masuk ke dalam aliran sungai, sehingga dibutuhkan data pasang surut tahun 2017.
10. Debit banjir yang direncanakan diambil dari DAS Beringin dan hilirnya merupakan laut (Pantai Utara Jawa).
11. Pemodelan yang dibuat dalam penelitan ini berupa model 2D, dimana data penampang sungai yang dibentuk dalam pemodelan banjir diambil dari DTM LIDAR dan kombinasi dengan data topografi pengukuran.
12. Pemodelan banjir tidak memperhitungkan bangunan-bangunan pengendali banjir, seperti: waduk, embung dan bangunan lainnya.
13. Pada penelitian ini data LIDAR yang sudah diolah tidak dilakukan validasi lapangan dan tidak dibandingkan dengan data pengukuran langsung di lapangan (topografi) karena keterbatasan waktu, biaya dan ketersediaan data.

I.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui bagaimana perbedaan masing-masing banjir pada debit rencana Q2, Q5 dan Q10.
2. Mengetahui bagaimana tingkat kerawanan banjir terhadap penggunaan lahan dilihat dari area luapan, luas dan kedalaman banjir di daerah kajian pemodelan banjir.

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Manfaat penelitian ditinjau dari keilmuan yaitu memberikan konstribusi dibidang pengindraan jauh khususnya LIDAR yang dikombinasikan dengan metode SIG untuk menghasilkan peta kerawanan banjir dari hasil pemodelan banjir dengan menggunakan *software* HEC-HMS dan HEC-RAS serta sebagai acuan terhadap penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan kerawanan banjir.
2. Manfaat kerekayasaan, dimana penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi luasan daerah yang terkena dampak dari banjir yang terjadi khususnya di daerah kajian penelitian.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Kondisi Umum Wilayah Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini berada di DAS Beringin. Letak koordinat DAS Bringin terletak pada 110º22'40" LS dan 6º50'00" BT

Secara administratif DAS Bringin meliputi beberapa kelurahan di Kecamatan Mijen dan Kecamatan Ngaliyan yaitu:

a. Kecamatan Ngaliyan, meliputi: Kelurahan Wonosari, Kelurahan Tambakaji, Kelurahan Gondorio, Kelurahan Wates, Kelurahan Bringin dan Kelurahan Ngaliyan.
b. Kecamatan Mijen, meliputi: Kelurahan Pesantren, Kelurahan Kedungpane, Kelurahan Jatibarang dan Kelurahan Mijen.

II.2. Banjir

II.2.1 Definisi Banjir

Menurut Suripin dalam (Darmawan dkk.,2017) Banjir didefinisikan sebagai suatu kondisi yang mana air dalam saluran pembuang (kali) tidak dapat tertampung atau terjadinya hambatan pada aliran air di dalam saluran pembuangan. Pada hal ini, banjir adalah peristiwa alam yang dapat menimbulkan baik kerugian harta benda penduduk maupun korban jiwa. Maka, banjir dapat pula dikatakan sebagai kejadian luapan air yang diakibatkan bila penampang saluran yang kurang kapasitasnya.

II.2.2 Kerawanan Banjir

Menurut Suherlan dalam (Darmawan dkk., 2017) kerawanan banjir adalah keadaan yang menggambarkan mudah atau tidaknya suatu daerah terkena banjir dengan didasarkan pada faktor-faktor alam yang mempengaruhi banjir antara lain faktor meteorologi (intensitas curah hujan, distribusi curah hujan, frekuensi dan lamanya hujan berlangsung) dan karakteristik daerah aliran sungai (kemiringan lahan/kelerengan, ketinggian lahan, testur tanah dan penggunaan lahan).

II.3. Peraturan Kepala BNPB No. 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana

Wilayah dengan kerawanan banjir yang tinggi akan memiliki nilai yang tinggi. Klasifikasi kerawanan banjir ditentukan berdasarkan nilai kerawanan yang telah diperoleh. Menurut Peraturan Kepala BNPB No. 02 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, tingkat kerawanan banjir dibagi ke dalam 3 kelas yaitu:

Tabel 1 Kelas Tingkat Kerawanan Banjir (BNPB, 2012)

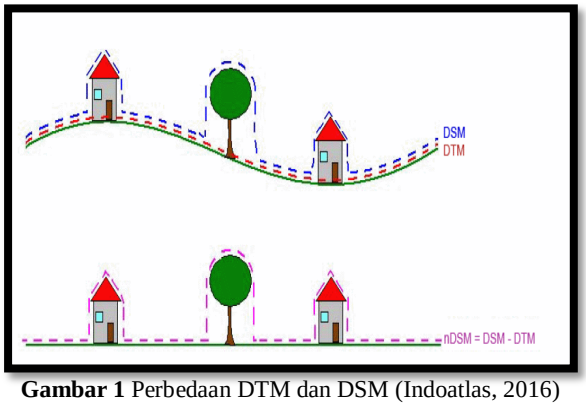
Ke dalaman (m)	Kelas	Nilai	Bobot (%)	Skor
< 0.76	Rendah	1	100	0,333
0,76 – 1.5	Sedang	2	100	0,667
> 1.5	Tinggi	3	100	1,000

II.4. Light Detection and Ranging (LIDAR)

LIDAR merupakan sistem pengindraan jauh aktif menggunakan sinar laser yang dapat menghasilkan informasi mengenai karakteristik topografi permukaan tanah dalam posisi horizontal dan vertikal. Sinar laser tersebut memiliki gelombang tidak tampak (*infrared*) sehingga dapat menembus celah dedaunan untuk mencapai permukaan tanah dan dipantulkan kembali untuk ditangkap oleh sensor laser yang dilengkapi oleh pengukur waktu untuk mencatat beda waktu ketika gelombang tersebut dipancarkan hingga ketika gelombang tersebut diterima kembali setelah dipantulkan (Soetaat, 2009).

Data hasil pengukuran LIDAR berupa *points cloud* atau bertipe data titik tersebut harus dikonversikan ke dalam bentuk raster agar dapat dilakukan ekstraksi informasi berdasarkan area studinya sehingga dapat menghasilkan:

1) DTM *(Digital Terrain Model)*
   DTM didefinisikan sebagai representasi statistik permukaan tanah yang kontiyu dari titik-titik yang diketahui koordinat x, y dan z-nya pada suatu sistem koordinat. DTM dapat membentuk model *digital* permukaan tanah tiga dimensi dari data hasil pengukuran terhadap beberapa titik yang dianggap dapat mewakili bentuk permukaan tanah secara keseluruhan. Model *digital* permukaan tanah tersebut memiliki koordinat tiga dimensi. Pada studi penelitian ini DTM akan diperoleh dari *ground points* yang merupakan hasil pantulan yang berasal dari permukaan tanah dapat dilihat pada Gambar 1.

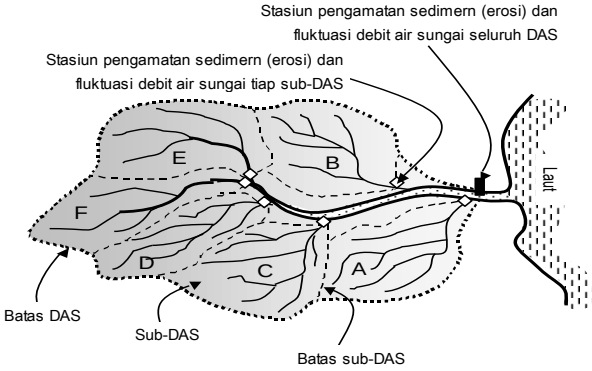


Gambar 1 Perbedaan DTM dan DSM (Indoatlas, 2016)

2) DSM *(Digital Surface Model)*
   DSM dalam studi penelitian ini didefinisikan sebagai model tiga dimensi pantulan yang berasal dari kanopi pohon tersebut. Pantulan *points cloud* dari kanopi yang digunakan untuk DSM tersebut di-*generate* dari titik-titik yang tertinggi dari permukaan tanah dalam kanopi pohon tersebut. Penampakan DSM tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

II.5. Daerah Aliran *Sungai* (DAS)

DAS merupakan suatu ekosistem dimana di dalamnya terjadi suatu proses interaksi antara faktor-faktor biotik, nonbiotik dan manusia. Sebagai suatu ekosistem, maka setiap ada masukan (*input*) ke dalamnya, proses yang terjadi dan berlangsung di dalamnya dapat dievaluasi berdasarkan keluaran (*output*) dari ekosistem tersebut. Komponen masukan dalam ekosistem DAS adalah curah hujan, sedangkan keluaran terdiri dari debit air dan muatan sedimen. Komponen-komponen DAS yang berupa vegetasi, tanah dan saluran/sungai dalam hal ini bertindak sebagai prosessor (Suripin, 2008).



Gambar 2 Gambaran sebuah Daerah Aliran Sungai (DAS) (Suripin, 2008)

II.6. *Software*

Pada penelitian tugas akhir ini memakai beberapa *software* yang digunakan untuk *mengolah* data-data yang sudah ada, berikut mengenai penjelasan *software* yang digunakan.

II.5.1 HEC-HMS

Menurut (Corps of Engineers, 2016) yaitu buku manual panduan dari *software* ini. *Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk mensimulasikan proses hujan-aliran/limpasan *(rainfall-runoff)* pada suatu sistem tangkapan hujan atau daerah aliran sungai (DAS). HEC-HMS dapat diterapkan secara luas untuk berbagai permasalahan diantaranya adalah ketersediaan air dan banjir di perkotaan maupun DAS alami. Hidrograf yang dihasilkan dari program ini dapat digunakan untuk studi ketersediaan air, drainase perkotaan, peramalan aliran, pengaruh urbanisasi, perancangan pelimpah bendungan, mitigasi dampak banjir, pengelolaan daerah genangan, hidrologi lahan basah, operasi sistem seperti waduk dan lain sebagainya. Perhitungan dalam pengolahan parameter-parameter pembuatan debit rencana banjir adalah:

a. Menghitung Intensitas curah hujan

$$\mathbf{I} = \frac{R24}{24}\left(\frac{24}{tc}\right)^{2/3} \quad \text{.....(II-1)}$$

Keterangan:
I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
t = lamanya curah hujan (jam)
R24= curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

b. Menghitung nilai CN dan *Impervious*

$$CN_k = \frac{\mathbf{A1xCN1 + A2xCN2 + A3xCN3 + \dots}}{\sum_{i=1}^{i=n+1} A} \quad \text{.....(II-2)}$$

Keterangan:
CN_k = Bilangan Kurva Komposit
A_1 = Luasan Tataguna Lahan
CN = Bilangan kurva masing-masing Tataguna lahan

$$I_k = \frac{\mathbf{A1xI1 + A2xI2 + A3xI3 + \dots}}{\sum_{i=1}^{i=n+1} A} \quad \text{.....(II-3)}$$

Keterangan:
I_k = Bilangan Kurva komposit
A_1 = Luasan Tataguna Lahan
I = Bilangan/Nilai *Impervious*

c. Menghitung Nilai parameter *Reach* dan *Basin*
Perhitungan *Reach* dan *Basin*
a. Kemiringan

$$S = \frac{\text{Elev.tinggi} - \text{Elev.rendah}}{\text{panjang sungai utama}} \quad \text{.....(II-4)}$$

b. Waktu konsentrasi (tc) dan Tp (Lag Time) dapat dicari dengan rumus

$$tc = \left(\frac{0{,}870xL^2}{1000XS}\right)^{0{,}385} \quad \text{.....(II-5)}$$

$$Tp = 0{,}6xtc \quad \text{.....(II-6)}$$

Keterangan:
L = Panjang lintasan maksimum (m)
S = Kemiringan rata-rata (m)
tc = Waktu konsentrasi (jam)
Tp = *Lag Time* (jam)

II.5.2 HEC-RAS

Menurut (Corps of Engineers, 2009), HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System* (RAS), HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik serta pelaporan.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Peralatan Penelitian

1. Perangkat Keras
   a. *Laptop* Acer E5-47Gi 3 RAM 6GB
   b. Printer
2. Perangkat Lunak
   a. Sistem Operasi Windows 10
   b. *Software* Microsoft Office 2016
   c. *Software* Microsoft Excel 2016
   d. *Software* ArcGIS 10
   e. *Software* Global Mapper 17
   f. *Software* Terrasolid Microstation
   g. *Software* HEC-HMS
   h. *Software* Aprob 4.1
   i. *Software* HEC-RAS 5.0.5
   j. *Software* AutoCAD Civil 3D 2016

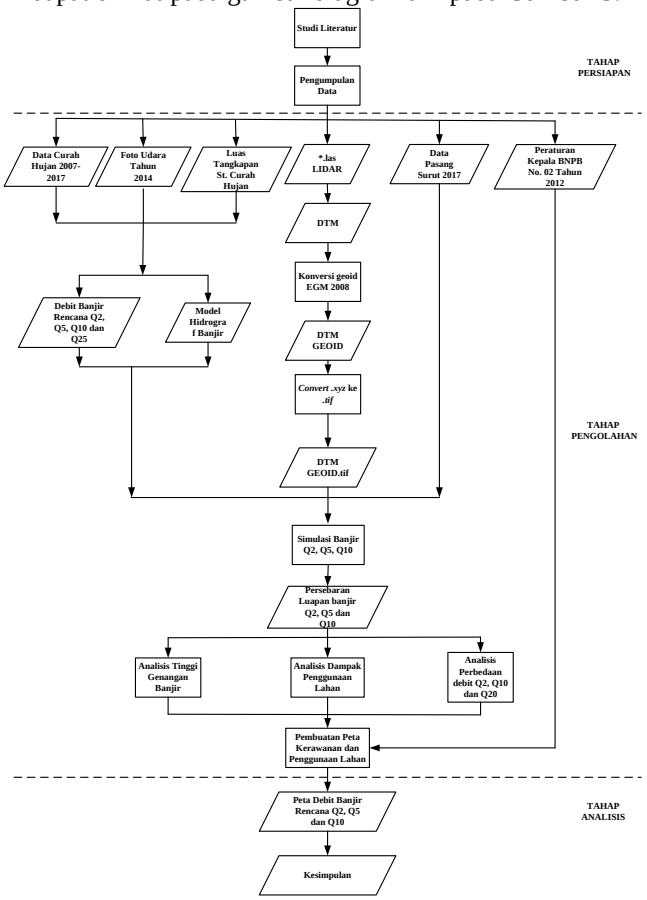
III.2 Data Penelitian

Penelitian ini mengumpulkan data primer dan sekunder sesuai yang dibutuhkan dalam menunjang pelaksanaan penelitian. Data penelitian tersebut yaitu:

1. Data Primer
   a. Las LIDAR akuisi tahun 2014 dari PT. Karvak Nusa Geomatika.
   b. Data curah hujan tahun 2007-2016 dari PSDA Jawa Tengah.
   c. Data Pasang Surut dari PUSHIDROSAL TNI-AL.
2. Data Sekunder
   a. Foto Udara akuisisi tahun 2014 dari PT. Karvak Nusa Geomatika.
   b. Peta DAS dan Peta Sungai Kota Semarang dari Dinas PU Kota Semarang
   c. Peta Jenis Tanah, Peta Administrasi dan tataguna lahan dari BAPPEDA Kota Semarang.
   d. Data Topografi dan Peta kontur kota Semarang dari Pusat Studi Bencana LPPM Undip.

III.3 Pengolahan Data

Penelitian ini dibagi kedalam beberapa tahapan dapat dilihat pada gambar diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan deskripsi secara umum pengolahan tugas akhir yang dilakukan oleh penulis, yaitu:

1. Persiapan dilakukan untuk melakukan studi literatur dan pengumpulan data meliputi data *points cloud* LIDAR dan foto udara yang berasal dari PT. Karvak Nusa Geomatika, dan data primer dan sekunder lainnya seperti yang disebutkan pada bagian III-2.
2. Pembuatan DTM dilakukan menggunakan perangkat lunak Terrasolid Microstation dengan cara melakukan klasifikasi secara otomatis dan manual lalu DTM akan diikatkan dengan EGM 2008 karena pengukuran tersebut masih mengandung undulusi. Resolusi DTM yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 m x 1 m. DTM yang telah dibuat selanjutnya diekspor ke dalam format raster dengan ekstensi *.tiff agar dapat digunakan pada *software* HEC-RAS.
3. Debit banjir dibuat menggunakan *software* HEC-HMS tahapan pada pengolahan debit sebagai berikut:
   a. Pembuatan Subdas dari data kontur.
   b. Membuat *Polygon Thiessen* dan Menghitung Nilai Hujan maksimum (Rmax)

c. Menghitung Debit Maksimum dengan AProb 4.1 dan menghitung nilai Intensitas Curah hujan
d. Menghitung nilai CN dan *Impervious*
e. Menghitung Nilai parameter *Reach* dan *Basin*
f. Menghitung debit jam-jaman dengan menggunakan HEC HMS.

g. Simulasi profil muka air disimulasikan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 5.0.5. Simulasi dilakukan berdasarkan asumsi-asumsi berikut:
   a. Koefisien kekasaran Manning ditentukan berdasarkan keadaan tanah sungai.
   b. Debit rencana banjir yang diperoleh dari HEC-HMS.
   c. Pengaruh pasang surut air laut terhadap pemodelan *unsteady flow.*

h. Delineasi genangan banjir Hasil simulasi profil banjir untuk setiap debit banjir selanjutnya diimpor ke dalam RAS Mapper sehingga diperoleh ke dalaman genangan banjir dan daerah sebaran banjir.

i. Genangan banjir selanjutnya di-*overlay* dengan foto udara yang sudah didigitasi sehingga dapat diperoleh daerah-daerah di sekitar sungai yang tergenang banjir dan diklasifikasikan berdasarkan Peraturan Kepala BNPB No. 02 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, tingkat kerawanan banjir dibagi ke dalam 3 kelas yaitu tinggi, sedang dan rendah seperti yang disebutkan pada Tabel 1 .

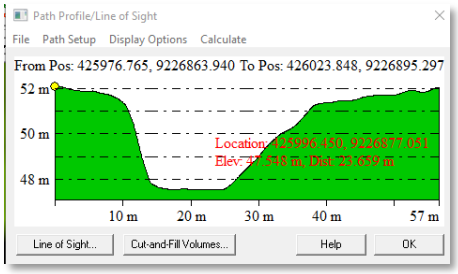
j. Penulisan Laporan merupakan tahap akhir penelitian, tahap laporan dan uraian pembahasan hasil penelitian.

IV. Hasil dan Analisis

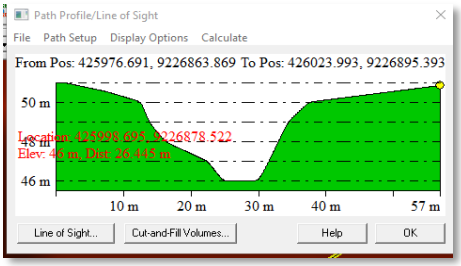
IV.1 Hasil Pengolahan LIDAR

Pada saat pengolahan pemodelan banjir, penulis mengalami satu kesulitan dimana data DTM tidak meng-*cover* seluruh penampang sungai. Hal ini terjadi karena keterbatasan alat LIDAR yang tidak bisa merekam bagian air atau badan air secara sempurna sehingga untuk menghasilkan data yang baik penulis mengkombinasi data LIDAR dengan data topografi dilapangan. Topografi sungai sangat mempengaruhi hasil yang akan didapatkan dalam pemodelan. Oleh karena itu, untuk bagian penampang sungai pada pemodelan ini dilakukan kombinasi antara data pengukuran topografi dengan data LIDAR.

Jika dibandingkan melalui *path profile* pada *software* Global Mapper 17, terdapat perbedaan yang signifikan terhadap kedalaman sungai yang didapatkan melalui data DTM LIDAR dan data DTM yang berasal dari pengukuran topografi. Perbandingan tersebut diambil dari *path profile* pada *software* Global Mapper 17 dengan menggunakan koordinat yang hamper sama, dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 bagaimana perbedaan antara keduanya. Pada kedua gambar dapat dilihat bahwa perbedaan kedalaman yg terdapat pada *path profile* sungai antara kedua data adalah sekitar 1,748m. Pengkombinasian antara data LIDAR dan topografi dilakukan hanya dibagian sungai saja, sedangkan untuk data sekitar sungai menggunakan data utama yaitu LIDAR.



Gambar 4 Tampilan *path profile* pada DTM LIDAR



Gambar 5 Tampilan *path profile* pada DTM kombinasi

IV.2 Hasil Pengolahan HEC-HMS

Debit banjir yang dihasilkan merupakan kombinasi antara parameter-parameter yang digunakan dalam HEC-HMS antara lain data curah hujan harian selama 10 tahun, peta subdas, peta jenis tanah perhitungan nilai CN dan *Impervious* dan berbagai parameter lainnya seperti yang disebutkan dalam bagian III-3, kemudian data akan dihitung secara otomatis menggunakan HEC-HMS sehingga didapatkan nilai debit banjir perjam dengan kala ulang 2 tahun, 5 tahun dan 10 tahun seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Debit Banjir Rencana Jam-jaman

Waktu	Debit Rencana		
	Q2	*Q5*	*Q10*
	Outflow Juction 4 (m^3/s)	*Outflow Juction* 4 (m^3/s)	*Outflow Juction* 4 (m^3/s)
6:00	0	0	0
7:00	1,3	4,5	9,1
8:00	5,9	18	34
9:00	14,1	39,4	71,8
10:00	23,4	61,3	107,9
11:00	31,7	78,7	134,9
12:00	**36,4**	**87,1**	**147**
13:00	37	86,7	144,9
14:00	34,2	79,4	132
15:00	30,2	69,6	115,5
16:00	26	59,4	98,4
17:00	21,9	50	82,6
18:00	18,2	41,4	68,3
19:00	14,9	33,9	56
20:00	12,1	27,4	45,3
21:00	9,7	21,9	36,1
22:00	7,7	17,4	28,7
23:00	6,1	13,7	22,6
0:00	4,8	10,8	17,8
1:00	3,7	8,5	14
2:00	3	6,8	11,2
3:00	2,4	5,4	9
4:00	1,9	4,4	7,3
5:00	1,6	3,5	5,8
6:00	1,3	2,9	4,7
Jumlah	349,5	832,1	1.404,9

IV.3 Analisis Pemodelan Banjir

Analisis pemodelan banjir juga sering disebut dengan pemodelan hidraulika. Pemodelan hidraulika dilakukan untuk mengetahui kapasitas tampungan air dari penampang sungai dalam penelitian ini menggunakan data *terrain* (DTM). Skema pemodelan dilakukan dengan analisa *Unsteady Flow* dengan memasukkan data pasang surut pada hilir dan data hidrograf serta debit banjir dihulu sungai. Pada Gambar 8 menunjukkan bagaimana persebaran genangan banjir yang terjadi pada daerah kajian, Gambar 6 merupakan foto udara yang menampilkan keadaan daerah yang terkena banjir dan Gambar 7 merupakan tampilan bagaimana keadaan DTM pada daerah kajian.

Gambar 6 Tampilan Foto Udara

Gambar 7 Tampilan DTM pada daerah genangan

Gambar 8 Genangan air pada kala ulang Q2 tahun

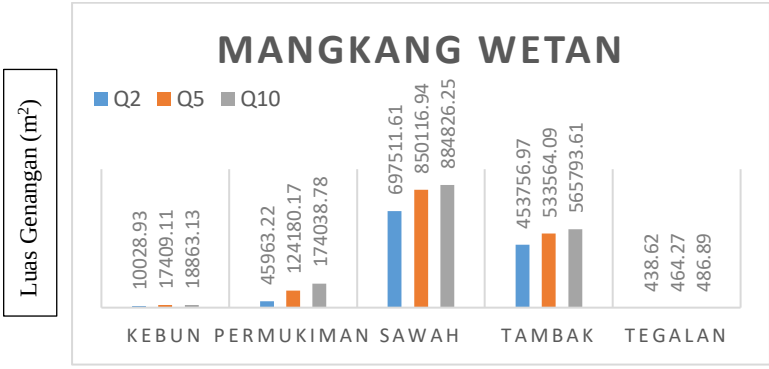
Pada Gambar 8 terdapat daerah dengan kedalaman 2,210 m, hal ini terjadi karena pada bagian tersebut merupakan daerah sungai sehingga kedalaman air pada lokasi tersebut mencapai ketinggian 2,210 m.

IV.3.1 Analisis Persebaran Banjir terhadap Penggunaan Lahan

Analisis persebaran banjir didasarkan pada hasil pemodelan banjir yang di-*overlay* dengan *shapfile* hasil digitasi foto udara sehingga didapatkan luas genangan banjir yang terjadi pada tiap kelurahan yang terkena dampak banjir.

I. Analisis Area Luapan Banjir Kelurahan Mangkang Wetan, Kec. Tugu

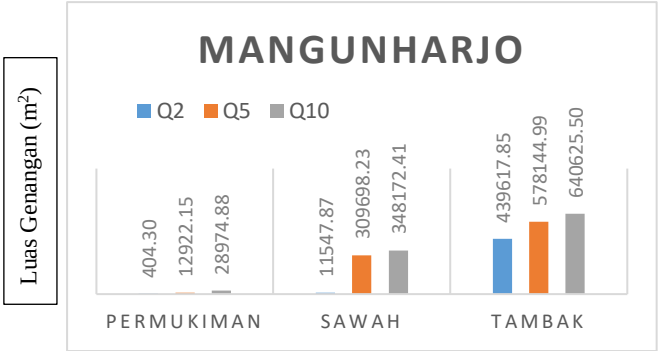
Berdasarkan hasil pemodelan pada *software* HEC-RAS 5.0.5 didapatkan hasil seperti yang ditampilkan pada Gambar 9, melalui gambar tersebut dapat dilihat bahwa setiap tahunnya terjadi peningkatan luas daerah yang terkena genangan banjir. Pada Kelurahan Mangkang Wetan daerah yang paling dominan terkena dampak banjir pada Q2, Q5 dan Q10 adalah daerah tambak dengan masing-masing luas 697.511,61 m^2, 850.116,94 m^2 dan 884.826,25 m^2.



Gambar 9 Grafik dampak Penggunaan Lahan Kel. Mangkang Wetan

II. Analisis Area Luapan Banjir Kelurahan Mangunharjo, Kec. Tugu

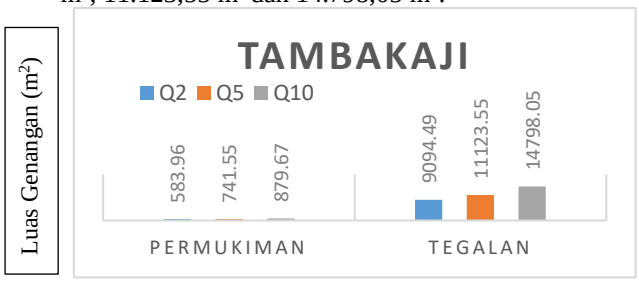
Berdasarkan hasil pemodelan pada *software* HEC-RAS 5.0.5 didapatkan hasil seperti yang ditampilkan pada Gambar 10, melalui gambar tersebut dapat dilihat bahwa setiap tahunnya terjadi peningkatan luas daerah yang terkena genangan banjir. Pada Kelurahan Mangunharjo daerah yang paling dominan terkena dampak banjir pada Q2, Q5 dan Q10 adalah daerah tambak dengan masing-masing luas 439.617,85 m^2, 578.144,99 m^2 dan 640.625,50 m^2.



Gambar 10 Grafik dampak Penggunaan Lahan Kel. Mangunharjo

III. Analisis Area Luapan Banjir Kelurahan Tambakaji, Kec. Ngaliyan

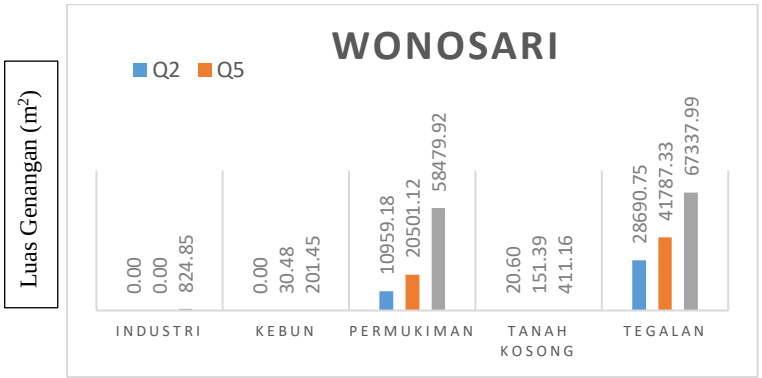
Berdasarkan hasil pemodelan pada *software* HEC-RAS 5.0.5 didapatkan hasil seperti yang ditampilkan pada Gambar 11, melalui gambar tersebut dapat dilihat bahwa setiap tahunnya terjadi peningkatan luas daerah yang terkena genangan banjir. Pada Kelurahan Tambakaji daerah yang paling dominan terkena dampak banjir pada Q2, Q5 dan Q10 adalah daerah tegalan dengan masing-masing luas 9.094,49 m^2, 11.123,55 m^2 dan 14.798,05 m^2.



Gambar 11 Grafik dampak Penggunaan Lahan Kel. Tambak Aji

IV. Analisis Area Luapan Banjir Kelurahan Wonosari, Kec. Ngaliyan

Berdasarkan hasil pemodelan pada *software* HEC-RAS 5.0.5 didapatkan hasil seperti yang ditampilkan pada Gambar 12, melalui tabel tersebut dapat dilihat bahwa setiap tahunnya terjadi peningkatan luas daerah yang terkena genangan banjir. Pada Kelurahan Wonosari daerah yang paling dominan terkena dampak banjir pada Q2, Q5 dan Q10 adalah daerah tegalan dengan masing-masing luas 28.690,75 m^2, 41.787,33 m^2 dan 67.337,99 m^2.



Gambar 12 Grafik dampak Penggunaan Lahan Kel. Wonosari

IV.3.2 Analisis Kerawanan Banjir Berdasarkan Peraturan Kepala BNPB No. 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana

Pada analisis ini kerawanan banjir DAS Bringin didasarkan pada Peraturan Kepala BNPB 02 Tahun 2012 mengenai Pedoman Umum Pengkajian Resiko Bencana. Pada peraturan tersebut banjir digolongkan kedalam 3 jenis, yaitu: banjir dengan kerawanan rendah, banjir dengan kerawanan sedang dan banjir dengan kerawanan tinggi. Daerah yang menjadi kajian kerawanan banjir pada penelitian ini bermuara pada Pantai Utara sehingga dibutuhkan data pasang surut air laut dan menjadi bagian yang sangat berpengaruh terhadap hasil pemodelan genangan banjir pada daerah kajian.

Berdasarkan informasi yang penulis kutip dari surat kabar, daerah Sungai Bringin memang sering terjadi banjir khususnya pada musim penghujan dan akan terjadi banjir pada bagian hilir jika pasang surut air laut tinggi. Hasil pemodelan pada kala ulang Q2 tahun, Q5 tahun dan Q10 tahun menjelaskan bahwa terjadi peningkatan daerah terdampak banjir.

I. Analisis Kedalaman Banjir pada Kala Ulang Q2 tahun

Hasil genangan terluas pada kala ulang Q2 tahun dengan tingkat kerawanan rendah berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 1.162.909,00 m^2, sedangkan untuk tingkat kerawanan sedang juga berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 42.445,79 m^2 serta tingkat kerawanan tinggi terjadi pada Kelurahan Wonosari dengan luas 13.382,76 m^2 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pemodelan dengan kala ulang Q2

No.	Tingkat Kerawanan	Kelurahan	Kecamatan	Luas (m^2)
1	Rendah (< 0,76 m)	Mangkang Wetan	Tugu	1.162.909,00
2		Mangunharjo	Tugu	434.277,64
3		Tambakaji	Ngaliyan	2.412,24
4		Wonosari	Ngaliyan	14.119,34
5	Sedang (> 0,76-1.5 m)	Mangkang Wetan	Tugu	42.445,79
6		Mangunharjo	Tugu	16.201,67
7		Tambakaji	Ngaliyan	5.258,23
8		Wonosari	Ngaliyan	12.168,43
9	Tinggi (> 1,5 m)	Mangkang Wetan	Tugu	2.344,57
10		Mangunharjo	Tugu	1.090,71
11		Tambakaji	Ngaliyan	2.007,98
12		Wonosari	Ngaliyan	13.382,76

II. Analisis Kedalaman Banjir pada Kala Ulang Q5 tahun

Hasil genangan terluas pada kala ulang Q5 tahun dengan tingkat kerawanan rendah berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 1.465.022,12 m^2, sedangkan untuk tingkat kerawanan sedang berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 54.613,39 m^2 serta tingkat kerawanan tinggi terjadi pada Wonosari dengan luas 26.967,55 m^2 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pemodelan dengan kala ulang Q5

No.	Tingkat Kerawanan	Kelurahan	Kecamatan	Luas (m^2)
1	Rendah (< 0,76 m)	Mangkang Wetan	Tugu	1.465.022,12
2		Mangunharjo	Tugu	881.736,78
3		Tambakaji	Ngaliyan	2.386,19
4		Wonosari	Ngaliyan	20.460,90
5	Sedang (> 0,76-1.5 m)	Mangkang Wetan	Tugu	54.613,39
6		Mangunharjo	Tugu	17.519,03
7		Tambakaji	Ngaliyan	2.441,21
8		Wonosari	Ngaliyan	15.041,88
9	Tinggi (> 1,5 m)	Mangkang Wetan	Tugu	6.099,08
10		Mangunharjo	Tugu	1.509,55
11		Tambakaji	Ngaliyan	7.037,70
12		Wonosari	Ngaliyan	26.967,55

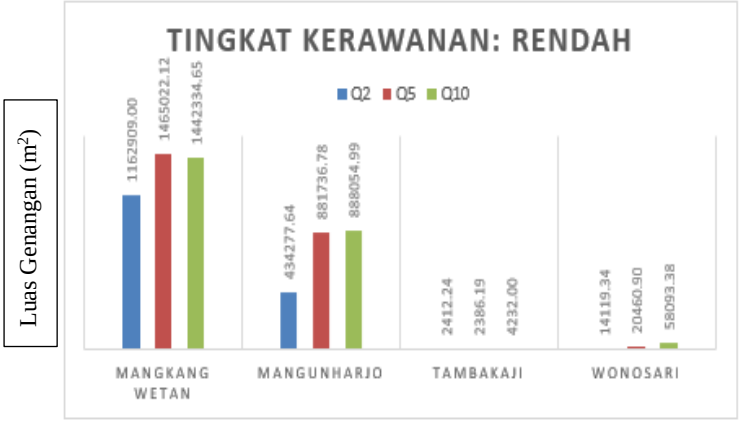
III. Analisis Kedalaman Banjir pada Kala Ulang Q10 tahun

Hasil genangan terluas pada kala ulang Q10 tahun dengan tingkat kerawanan rendah berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 1.442.334,65 m^2, sedangkan untuk tingkat kerawanan sedang juga berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 186.280,66 m^2 serta tingkat kerawanan tinggi terjadi pada Kelurahan Wonosari dengan luas 31.669,45 m^2 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pemodelan dengan kala ulang Q10

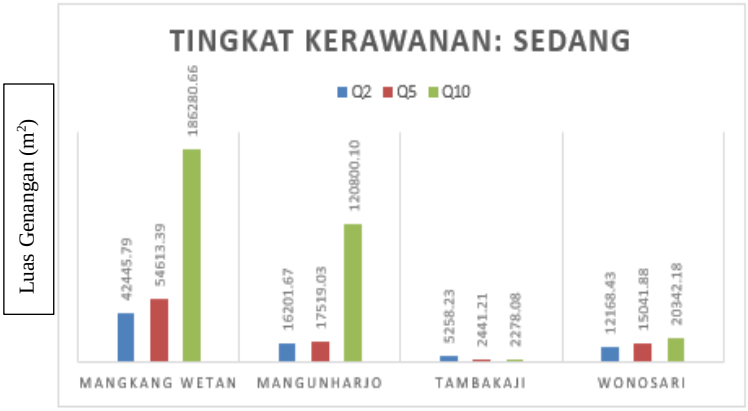
No.	Tingkat Kerawanan	Kelurahan	Kecamatan	Luas (m^2)
1	Rendah (< 0,76 m)	Mangkang Wetan	Tugu	1.442.334,65
2		Mangunharjo	Tugu	888.054,99
3		Tambakaji	Ngaliyan	4.232,00
4		Wonosari	Ngaliyan	58.093,38
5	Sedang (> 0,76-1.5 m)	Mangkang Wetan	Tugu	186.280,66
6		Mangunharjo	Tugu	120.800,10
7		Tambakaji	Ngaliyan	2.278,08
8		Wonosari	Ngaliyan	20342,18
9	Tinggi (> 1,5 m)	Mangkang Wetan	Tugu	15.393,36
10		Mangunharjo	Tugu	8.917,70
11		Tambakaji	Ngaliyan	8.633,42
12		Wonosari	Ngaliyan	31.669,45

Pada Gambar 13 menyajikan info grafik mengenai banjir dengan kala ulang masing-masing Q2 tahun, Q5 tahun dan Q10 tahun gambar tersebut menunjukkan bahwa daerah Kelurahan Mangkang Wetan adalah daerah yang paling luas terkena dampak banjir dengan tingkat kerawanan rendah, selanjutnya disusul dengan Kelurahan Mangunharjo, Kelurahan Wonosari dan Kelurahan Tambakaji.



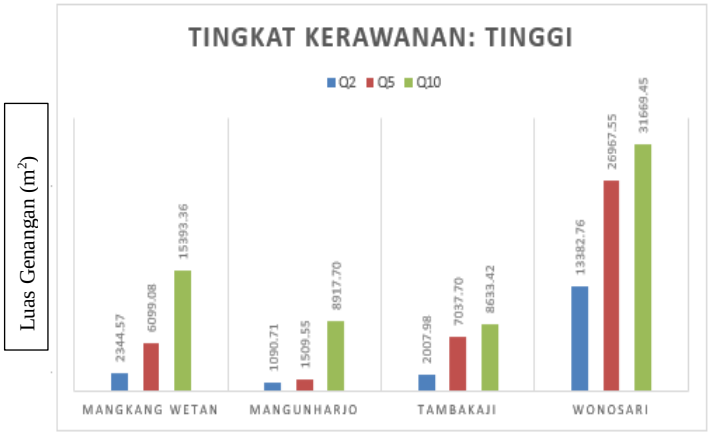
Gambar 13 Grafik Banjir dengan Tingkat Kerawanan Rendah

Pada Gambar 14 menyajikan info grafik mengenai banjir dengan kala ulang masing-masing Q2 tahun, Q5 tahun dan Q10 tahun gambar tersebut menunjukkan bahwa daerah Kelurahan Mangkang Wetan adalah daerah yang paling luas terkena dampak banjir dengan tingkat kerawanan sedang, selanjutnya disusul dengan Kelurahan Mangunharjo, Kelurahan Wonosari dan Kelurahan Tambakaji.



Gambar 14 Grafik Banjir dengan Tingkat Kerawanan Sedang

Pada Gambar 15 menyajikan info grafik mengenai banjir dengan kala ulang masing-masing Q2 tahun, Q5 tahun dan Q10 tahun gambar tersebut menunjukkan bahwa daerah Kelurahan Wonosari adalah daerah yang paling luas terkena dampak banjir dengan tingkat kerawanan tinggi, selanjutnya disusul dengan Kelurahan Mangkang Wetan, Kelurahan Tambakaji dan Kelurahan Mangunharjo .



Gambar 15 Grafik Banjir dengan Tingkat Kerawanan Tinggi

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengolahan debit menggunakan *software* HEC-HMS 3.5 dapat ditarik kesimpulan bahwa debit rencana banjir pada kala ulang 2 tahun, 5 tahun dan 10 tahun selalu meningkat. Debit maksimum yang dihasilkan pada Q2 tahun adalah 36,4 m^3/s, sedangkan pada Q5 tahun adalah 87,1 m^3/s dan pada Q10 tahun adalah 147 m^3/s.
2. Berdasarkan hasil analisis pemodelan banjir ditinjau dari penggunaan lahan dan kedalaman banjir adalah sebagai berikut:
   a. Pada Kelurahan Mangkang Wetan daerah yang paling dominan terkena dampak banjir pada Q2, Q5 dan Q10 adalah daerah sawah dengan masing-masing luas 697.511,61 m^2,

850.116,94 m^2 dan 884.826,25 m^2, sedangkan pada Kelurahan Mangunharjo daerah yang paling dominan terkena dampak banjir pada Q2, Q5 dan Q10 adalah daerah tambak dengan masing-masing luas 439.617,85 m^2, 578.144,99 m^2 dan 640.625,50 m^2, 7860,387 m^2 dan 8.306,06 m^2, pada Kelurahan Tambakaji daerah yang paling dominan terkena dampak banjir pada Q2, Q5 dan Q10 adalah daerah tegalan dengan masing-masing luas 9.094,49 m^2, 11.123,55 m^2 dan 14.798,05 m^2 serta pada Kelurahan Wonosari daerah yang paling dominan terkena dampak banjir pada Q2, Q5 dan Q10 adalah daerah tegalan dengan masing-masing luas 28.690,75 m^2, 41.787,33 m^2 dan 67.337,99 m^2.

b. Sedangkan berdasarkan Peraturan Kepala BNPB No. 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana, banjir dibagi kedalam 3 tingkat. Melalui hasil pemodelan banjir, genangan terluas pada kala ulang Q2 tahun tingkat kerawanan rendah berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 1.162.909,00 m^2, sedangkan untuk tingkat kerawanan sedang juga berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 42.445,79 m^2 serta tingkat kerawanan tinggi terjadi pada Kelurahan Wonosari dengan luas 13.382,76 m^2, hasil genangan terluas pada kala ulang Q5 tahun dengan tingkat kerawanan rendah berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 1.465.022,12 m^2, sedangkan untuk tingkat kerawanan sedang berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 54.613,39 m^2 serta tingkat kerawanan tinggi terjadi pada Wonosari dengan luas 16.796,232 m^2 dan hasil genangan terluas pada kala ulang Q10 tahun dengan tingkat kerawanan rendah berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 1.442.334,65 m^2, sedangkan untuk tingkat kerawanan sedang juga berada pada Kelurahan Mangkang Wetan dengan luas 186.280,66 m^2 serta tingkat kerawanan tinggi terjadi pada Kelurahan Wonosari dengan luas 31.669,45 m^2.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran agar penelitian selanjutnya bisa lebih baik, yaitu:

1. Data utama yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data LIDAR dengan sensor yang hanya bisa merekam badan air dengan kedalaman 10-30cm, hal ini membuat keadaan topografi sungai yang tidak tergambarkan secara baik. Efeknya hasil pemodelan yang didapatkan tidak maksimal. Oleh karena itu, dibutuhkan data LIDAR dengan kekuatan sensor yang lebih baik agar DTM yang dihasilkan lebih baik pula.
2. Pengumpulan data pada penelitian ini membutuhkan perijinan yang lumayan sulit, sangat dianjurkan untuk melakukan pengecekan data pada instansi-instansi terkait untuk mengetahui bahwa data tersebut tersedia atau tidak agar mengantisipasi pencarian data dan pengurusan administrasi permohonan data.
3. Pengolahan data LIDAR membutuhkan spesifikasi komputer yang tinggi baik *processor* dan RAMnya, dikarenakan tingginya kompleksitas data yang diolah.
4. Masukan saya untuk penelitian selanjutnya adalah memperhitungkan sedimentasi dan bangunan pemecah air seperti embung, waduk, bendungan dan sebagainya agar didapatkan hasil yang lebih maksimal.

V.3 Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada pihak-pihak yang sudah membantu penulis dalam melakukan penelitian ini, yaitu:

1. Keluarga Besar Departemen Teknik Geodesi Universitas Diponegoro
2. Keluarga Besar PT. Karvak Nusa Geomatika, Pusat Studi Bencana LPPM UNDIP, PUSHIDROSAL TNI-AL, PSDA Jawa Tengah, Dinas PU Kota Semarang dan BAPPEDA Kota Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

BNPB, 2012. Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulan Bencana Nomor 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Resiko Bencana. BNPB, Jakarta.

Corps of Engineers, U.A., 2016. *Hydrologis Modeling System HEC-HMS*. US ARMY.

Corps of Engineers, U.A., 2009. *HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS Using ArcGIS*. US ARMY, Davis, CA.

Darmawan, K., Suprayogi, A., Hani'ah, 2017. Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Di Kabupaten Sampang Menggunakan Metode *Overlay* Dengan *Scoring* Berbasis Sistem Informasi Geografis. Jurnal Geodesi Undip 6, 31–40.

Indoatlas, 2016. Perbedaan DEM, DTM dan DSM DEM, DTM dan DSM. URL http://indoatlas.net/wpcontent/uploads/2015/06/citra-dsm.png (diakses pada 20-6-18).

Rahmat Wibisono, 2018. BENCANA JATENG : Tanggul Sungai Bringin Jebol, Mangkang Semarang Terendam.

Soetaat, 2009. Pengantar LiDAR: Konsep, Proyek dan Aplikasi. Universitas Gajah Mada Press, Yogyakarta.

Suharyanto, Nugroho, H., Nugroho, P., 2014. Pemodelan Peramalan Banjir Sungai Bringin Di Kota Semarang. Teknik Sipil Uiversitas Diponegoro.

Suripin, 2008. Buku Ajar Hidraulika. Universitas Doponegoro, Semarang.