

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DAERAH ALIRAN SUNGAI BODRI TERHADAP DEBIT PUNCAK MENGGUNAKAN METODE SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)

Ilya Dewanti Tisnasuci^{*)}, Abdi Sukmono, Firman Hadi

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

ABSTRAK

Pertambahan penduduk yang terus melaju pesat seiring dengan berjalannya waktu mengakibatkan suatu daerah semakin berkembang. Perkembangan ini mengakibatkan kebutuhan lahan untuk industri dan kebutuhan perumahan meningkat pesat sehingga mengakibatkan berkurangnya persediaan lahan, air dan sumber daya lainnya. Perubahan tutupan lahan yang terjadi di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai akibat dari perkembangan kota merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi air larian, di mana perubahan besar air larian ini mempengaruhi besarnya debit puncak. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Fercher (2017) mengenai pemodelan dampak perubahan penggunaan lahan terhadap debit puncak di Lembah Urseren Pegunungan Alpen Swiss berkurangnya tutupan lahan vegetasi dapat menyebabkan meningkatnya debit puncak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap perubahan debit puncak di DAS Bodri. DAS Bodri merupakan DAS Prioritas berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan RI No. 328/Menhut-II/2009 Tentang Penetapan DAS Prioritas. Metode yang digunakan adalah klasifikasi supervised untuk klasifikasi tutupan lahan dan *overlay* untuk mengetahui perubahan tutupan lahan yang terjadi dan metode *Soil Conservation Services (SCS)* untuk mengetahui besar debit puncak dengan mempertimbangkan parameter tutupan lahan, jenis tanah, curah hujan, dan kemiringan lahan. Regresi linier sederhana untuk mengetahui pengaruh perubahan lahan terhadap perubahan debit puncak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan lahan paling terjadi pada tutupan lahan hutan yaitu berkurang sebesar 38,039 km² dan tutupan lahan kelas lahan terbuka meningkat sebesar 28.442 km². Perubahan debit puncak pada tahun 2016 dan 2020 sebesar 19,4m³/s. Pengaruh perubahan lahan terhadap perubahan debit puncak yaitu 54,9% sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan tutupan lahan berpengaruh terhadap perubahan debit puncak.

Kata Kunci: DAS Bodri, Tutupan Lahan, Debit Puncak, *Supervised, Soil Conservation Services (SCS)*.

ABSTRACT

The population growth that goes rapidly over the time causing a growing area. This population development resulted in increase the need for land that used for industry and housing needs. It resulting in reduced supplies of land, water and other resources. Changes in land cover that occur in a watershed that caused by urban development are one of the factors that affect to the run-off water, where changes in the size of runoff water can affect the amount of peak discharge. Based on research conducted by Fercher (2017) on modeling the impact of land use change on peak discharge in the Urseren Valley of the Swiss Alps, reduced vegetation land cover can cause an increase in peak discharge. This research was conducted to determine the effect of land cover changes on peak discharge changes in the Bodri watershed. The Bodri Watershed is one of the priority watersheds based on the Keputusan Menteri Kehutanan RI No. 328 / Menhut-II / 2009 concerning Determination of Priority Watershed..The method used is supervised classification for land cover classification and overlay to determine land cover changes and the Soil Conservation Services (SCS) method to determine the size of the peak discharge by considering some parameters like land cover, soil type, rainfall, and land slope. Simple linear regression to determine the effect of land cover changes on peak discharge changes. The results showed that the largest land cover change occurred in forest land cover, which was reduced by 38.039 km² and land cover for open land classes increased by 28,442 km². The change in peak discharge in 2016 and 2020 was 19.4 m³/s. The effect of land cover changes in peak discharge is 54.9%, so it can be concluded that changes in land cover affect in peak discharge changes.

Keywords: Bodri Waterhed, Land Cover, Peak Discharge, *Supervised, Soil Conservation Services (SCS)*

**) Penulis Penanggung Jawab*

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Pertambahan penduduk yang terus melaju pesat seiring dengan bertambahnya waktu mengakibatkan suatu daerah semakin berkembang pula. Perkembangan suatu daerah didukung oleh

meningkatnya aktivitas penduduk yang berlangsung sangat cepat. Kebutuhan lahan untuk industri dan kebutuhan perumahan meningkat pesat sehingga mengakibatkan berkurangnya persediaan lahan, air dan sumber daya lainnya. Untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan penduduk, terjadi perubahan

tutupan lahan misalnya dari sawah dan hutan yang seharusnya menjadi daerah resapan air, justru beralih menjadi wilayah pemukiman yang digunakan untuk rumah, pertokoan, perkantoran dan lain sebagainya.

Perubahanutupan lahan yang terjadi di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai akibat dari perkembangan kota merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi air larian, di mana perubahan besar air larian ini mempengaruhi besarnya debit puncak atau *peak discharge* (Asdak, 2010). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Fercher (2017) mengenai pemodelan dampak perubahan penggunaan lahan terhadap debit puncak di Lembah Urseren Pegunungan Alpen Swiss berkurangnyautupan lahan vegetasi dapat menyebabkan meningkatnya debit puncak. Berkaitan dengan pemanfaatan lahan maka diperlukan adanya keseimbangan lingkungan, demikian pula dengan pemanfaatan lahan di suatu DAS juga harus seimbang. Ketidakseimbangan yang terjadi saat ini mengakibatkan banyak terjadinya kejadian banjir. DAS Bodri menjadi salah satu DAS Prioritas berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan RI No. 328/Menhut-II/2009 Tentang Penetapan DAS Prioritas. Pada tahun 2016 dan 2020 terjadi fenomena alam La Nina, terpantau terjadi dua kejadian banjir di hilir DAS Bodri pada tahun 2016 sedangkan pada tahun 2020 sudah terjadi 10 kejadian banjir hingga bulan Agustus. Adanya keterkaitan antara perubahan tata guna lahan dan debit banjir dalam suatu DAS, menjadikan perlu untuk dilakukan penelitian analisis pengaruh perubahannya terhadap debit puncak banjir.

Penelitian dapat dilakukan menggunakan bantuan teknologi yang sudah semakin berkembang, yaitu teknologi penginderaan jauh. Pengolahan citra satelit khususnya Satelit Sentinel-2 dengan resolusi spasial 10 m pada band *red*, *green* dan *blue*. Hal ini dapat memudahkan dalam proses pengklasifikasian lahan. Sedangkan untuk perhitungan debit puncak, dilakukan dengan *software* HEC-HMS metode *Soil Conservation Service* (SCS) dengan data masukan berupa luas masing-masingutupan lahan, curah hujan, jenis tanah dan komponen-komponen hidrologi lain.

Pada penelitian ini penulis akan dilakukan pembaharuan yaitu berfokus pada analisis perubahanutupan lahan pada wilayah studi serta bagaimana pengaruhnya terhadap debit sungai. Citra yang digunakan berupa Citra Sentinel-2 Level 2A pada tahun 2016 dan 2020 untuk mengetahui perubahanutupan lahan pada DAS Bodri. Penelitian ini menggunakan data curah hujan selama sepuluh tahun yang didapatkan dari curah hujan global. Klasifikasiutupan lahan didasarkan dari *Hidrologic Soil Grup* (HSG) dan metode yang digunakan untuk menentukan nilai debit yaitu *metode Soil Conservation Service* (SCS) menggunakan *software* HEC-HMS.

I.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah di jabarkan, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana klasifikasi dan besar perubahanutupan lahan di kawasan DAS Bodri pada tahun 2016 dan 2020?
2. Bagaimana perubahan debit puncak pada Sungai Bodri akibat perubahanutupan lahan di DAS Bodri?
3. Bagaimana pengaruh perubahanutupan lahan terhadap debit puncak Sungai Bodri?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi klasifikasiutupan lahan dan perubahannya pada tahun 2016 dan 2020 pada DAS Bodri.
2. Mengetahui berapa besar nilai perubahan debit puncak pada Sungai Bodri akibat perubahanutupan lahan di DAS Bodri.
3. Mengetahui analisis mengenai pengaruh perubahanutupan lahan terhadap debit puncak Sungai Bodri.

Adapun manfaat yang didapatkan dengan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan pengambilan keputusan mengenai tindakan mitigasi bencana banjir.
2. Digunakan untuk bahan pertimbangan perancangan bangunan pengendali air.
3. Sebagai bahan perencanaan alokasi pemanfaatan air untuk berbagai macam keperluan, terutama memberikan gambaran potensi sumberdaya air yang dapat dimanfaatkan.
4. Sebagai bahan evaluasi pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS).

I.4 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah:

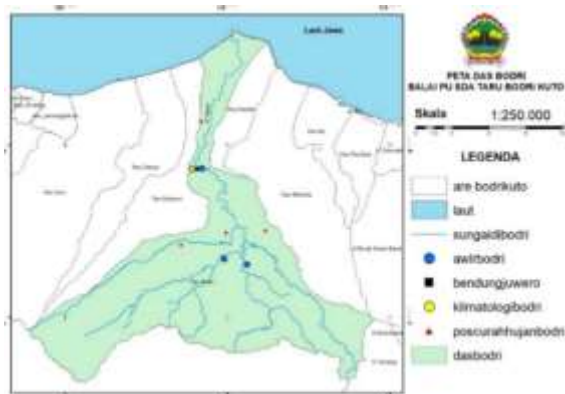
1. Analisis pengaruh perubahanutupan lahan terhadap debit puncak dibatasi pada wilayah studi DAS Bodri.
2. Identifikasi klasifikasiutupan lahan kawasan DAS Bodri dilakukan dengan menggunakan Citra Sentinel-2 pada tahun 2016 dan 2020.
3. Tutupan lahan dikelaskan menjadi tujuh kelas, yaitu: pertanian, hutan, pemukiman, sawah, lahan terbuka, perkebunan dan badan air. Tutupan lahan ini kemudian akan dikombinasikan dengan data jenis tanah untuk menentukan nilai *curve number* (CN).
4. Parameter untuk analisis hidrologi antara lain curah hujan,utupan lahan, jenis tanah, batas DAS dan batas sub-DAS.
5. Parameter untuk analisis hidrologi antara lain curah hujan,utupan lahan, jenis tanah, batas DAS dan batas sub-DAS.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Gambaran Wilayah Penelitian

DAS Bodri terletak pada koordinat geografis 651'20''-718'6'' LS dan 10955'20''-11020'48'' BT. DAS Bodri memiliki bentuk lahan yang beragam, di bagian hulu DAS Bodri di dominasi oleh aktivitas

vulkanik dan denudasi sehingga bentuk lahan berupa lereng dan perbukitan. Bagian tengah DAS Bodri dikontrol oleh aktivitas tektonik berupa struktur lipatan dan perbukitan dan merupakan lahan terbangun. Bagian hilir DAS Bodri berupa daratan dan delta yang terbentuk karena aktivitas fluvial dan marine. Jenis Tanah di DAS Bodri meliputi alluvial, grumusol, latosol dan regosol seperti yang di tampilkan pada **Gambar-1**.



Gambar - 1 Peta DAS Bodri (Balai PUSDATARU Bodri Kuto)

II.2 Tutupan Lahan

Kenampakan yang terdapat di permukaan bumi, seperti bagaimanapun jenisnya disebut dengan istilah penutup lahan. Tutupan lahan menggambarkan konstruksi vegetasi serta buatan yang menutup permukaan lahan. Konstruksi baik vegetasi maupun buatan tersebut secara keseluruhan tampak secara langsung dipantau dari citra penginderaan jauh (Lillesand dan Kiefer, 1990). Tutupan lahan mengandung informasi-informasi yang mendasar dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan alam seperti pemodelan iklim dan hidrologi, perlindungan lingkungan, konservasi keanekaragaman hayati, studi siklus biogeokimia serta manajemen sumber daya.

II.3 Penginderaan Jauh

Remote Sensing atau penginderaan jauh menurut Lillesand dan Kiefer (1990) merupakan suatu seni serta ilmu guna mendapatkan informasi tentang suatu objek, daerah atau fenomena melalui data analisis yang diperoleh menggunakan suatu alat tanpa membutuhkan kontak yang bersentuhan langsung dengan objek, daerah atau fenomena yang akan diteliti. Objek di permukaan bumi memantulkan berkas sinar dari cahaya matahari yang selanjutnya di tangkap oleh sensor satelit (Bashit, 2019).

II.3.1 Sentinel-2

Sentinel-2 merupakan citra pasif *Multi Spectral Instrument* (MSI) yang mempunyai 13 band spektral dengan resolusi spasial 10 meter, 20 meter dan 60 meter. Resolusi temporal Sentinel-2 untuk satu satelit merupakan 10 hari dan satelit konstelasi yang dikombinasi, temporalnya menjadi 5 hari. Produk Sentinel-2 terdiri dari level-0, level-1A, level-1B, level-1C dan level-2A. Produk yang tersedia

untuk para pengguna yaitu Level-1C dan Level 2A. Level-1C merupakan produk dalam *Top-of-atmosphere reflectances* (TOA) sedangkan level-2A dalam *Bottom-of-atmosphere reflectance* (BOA). Kedua level ini memiliki cakupan seluas 100 x 100 km² yang sudah tegak atau ortho images dalam proyeksi UTM/WGS84.

II.3.2 Koreksi Citra

Menurut Danoedoro (2012), suatu operasi untuk menjadikan kondisi suatu citra benar-benar dapat menghasilkan informasi dengan akurat baik secara geometris maupun radiometris disebut dengan koreksi citra. Operasi koreksi ini disebut juga dengan operasi pra-pengolahan atau *pre-processing*.

II.3.3 Sen2Cor

Sen2Cor merupakan sebuah prosesor untuk pembuatan dan pemformatan produk Sentinel-2 Level-2A, dalam pemrosesannya, Sen2Cor melakukan klasifikasi scene dan koreksi atmosfer yang diterapkan pada produk *orthoimage* Level-1C. Output utama Level-2A adalah produk reflektansi *Bottom-Of-Atmosphere* (BOA) *orthoimage*. Klasifikasi scene atau *scene classification* (SC) memungkinkan untuk mendeteksi awan, salju dan bayangan awan untuk menghasilkan peta klasifikasi (ESA, 2018).

II.4 Klasifikasi Supervised

Klasifikasi *supervised* merupakan suatu metode dalam interpretasi citra penginderaan jauh, proses klasifikasi ini dilakukan dengan melibatkan interaksi analisis secara intensif karena klasifikasi ini memerlukan pengambilan training area atau pengambilan sampel. Pengambilan sampel ini perlu memperhatikan pola spektral pada setiap Panjang gelombang tertentu agar sampel yang diambil dapat benar-benar mewakili objek tersebut. Metode klasifikasi *supervised* yang digunakan yaitu Metode *Maximum Likelihood*, metode ini berpedoman pada nilai piksel training area yang telah dibuat. Metode ini dipilih karena merupakan metode paling mapan menurut Danoedoro (2012) di mana pengkelasan tidak didasarkan pada jarak melainkan oleh bentuk, ukuran dan orientasi sampel.

II.5 Matriks Konfusi

Akurasi suatu hasil klasifikasi dapat dinilai dengan menggunakan matriks konfusi. Matriks konfusi atau matriks kesalahan merupakan sebuah matriks yang memperlihatkan hubungan antara hasil klasifikasi berdasarkan interpretasi citra dengan sampel data yang dapat sesuai kondisi sebenarnya di lapangan (Danoedoro,2012). Penentuan banyaknya sampel yang digunakan untuk mengambil data lapangan, penelitian ini menggunakan formula Anderson pada persamaan (1).

$$N = \frac{4pq}{E^2} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

N = Jumlah sampel

p = Nilai ketelitian yang diharapkan

q = Selisih antara 100 dan p
E = Nilai kesalahan yang diterima

II.6 Overlay

Overlay atau dikenal dengan tumpang susun merupakan analisis spasial yang mengombinasi dua atau beberapa *feature* dan informasi menjadi satu (Prahasta, 2014). Pada format vektor, terdapat dua kelompok yaitu *intersect* dan *union* sedangkan pada format data raster fungsi analisis *overlay* diwujudkan dalam bentuk operator aritmatika terhadap piksel.

II.7 DEMNAS

DEMNAS atau DEM Nasional merupakan sebuah produk DEM yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) untuk seluruh wilayah Indonesia dan dapat diakses dengan tanpa biaya. DEMNAS dibuat dari ekstraksi dan kombinasi beberapa sumber data yang meliputi data IFSAR dengan resolusi 5 m, TERRASAR-X dengan resolusi 5 m serta ALOS PALSAR dengan resolusi 11,25 m, dengan menambahkan data Masspoint hasil *stereo-plotting*. Dari data-data tersebut menghasilkan DEMNAS yang memiliki resolusi spasial yaitu 0.27-arcsecond atau 8,1 m, dengan menggunakan datum vertikal EGM 2008 (BIG, 2018). Ketelitian vertikal DEMNAS sebesar 1,818 m (Parapat dkk, 2019).

II.8 Siklus Hidrologi

Dari masa ke masa, keseluruhan air yang ada di bumi ini relatif tetap jumlahnya, hal ini dikarenakan air mengalami siklus yang dinamakan siklus hidrologi di mana siklus ini berlangsung terus menerus yang tidak diketahui kapan awal dan berakhirnya siklus ini (Suripin, 2004).

II.8.1 Presipitasi

Di dalam suatu siklus hidrologi, peristiwa uap air yang mengondensasi dan kemudian jatuh dari atmosfer menuju permukaan bumi dalam bentuk air atau salju disebut dengan presipitasi. Menurut Asdak (2010) untuk melakukan perhitungan curah hujan harian, bulanan serta tahunan pada suatu DAS atau sub-DAS, digunakan tiga cara perhitungan berikut, yaitu rata-rata aljabar (aritmatik), metode poligon thiessen dan metode isohyet. Rata-rata aljabar didapatkan dengan persamaan (2).

$$P = \frac{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan P1, P2, ..., Pn merupakan curah hujan yang tercatat pada pos penakar hujan 1, 2, ..., n dan n merupakan banyaknya pos penakar hujan.

II.8.2 Analisis Frekuensi

Dalam pengolahan perhitungan debit puncak, salah satu parameter yang dibutuhkan adalah curah hujan. Data curah hujan perlu dilakukan analisis frekuensi, hal ini dilakukan dengan tujuan mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Dengan analisis frekuensi akan diperkirakan besarnya curah hujan dengan interval

kejadian tertentu misalnya 2 tahun, 10 tahun atau 100 tahun (Triatmodjo, 2008).

II.8.3 Intensitas Hujan

Menurut Suripin (2004) intensitas hujan merupakan tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Intensitas hujan didapatkan dengan rumus Mononobe pada persamaan (3)

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- I : Intensitas hujan (mm/jam)
- T : Lamanya hujan (jam)
- R₂₄ : Curah hujan maks harian (selama 24 jam) (mm)

II.8.4 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi merupakan waktu yang dibutuhkan air hujan saat jatuh di permukaan bumi untuk mengalir dari titik terjauh hingga ke tempat keluaran DAS (titik kontrol) setelah tanah menemui jenuh dan depresi-depresi kecil sudah terpenuhi (Suripin, 2004).

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1.000 \times S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan tc merupakan waktu konsentrasi dalam satuan jam, L yaitu panjang saluran utama dari hulu hingga penguras dalam satuan km dan S yaitu kemiringan rata-rata.

II.8.5 Debit Puncak

Debit aliran sungai merupakan laju aliran air dalam bentuk volume air yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Debit puncak (banjir) diperlukan untuk merancang bangunan- bangunan pengendali banjir.

II.9 Curah Hujan PERSIANN-CCS

Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN) merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk mendapatkan estimasi curah hujan berbasis satelit. PERSIANN - *Cloud Classification System* (PERSIAN-CCS) merupakan salah satu satelit presipitasi global dengan skala yang tinggi yaitu 0,04 x 0,04 atau 4 km x 4 km dengan perekaman real-time yang dikembangkan oleh *Center for Hydrometeorology and Remote Sensing* (CHRS) di University of California.

II.10 Metode Soil Conservation Services (SCS)

Soil Conservation Service (SCS) merupakan metode untuk memperkirakan air larian dengan mengkaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi, tutupan lahan dengan bilangan kurva air larian (CN). SCS dikembangkan dari analisis sejumlah besar hidrograf satuan dari data lapangan dengan berbagai ukuran DAS dan lokasi (Triatmodjo, 2008).

II.10.1 Hydrologic Soil Group

Kelompok hidrologi tanah merupakan sebuah pengkelasan terhadap tanah yang dibuat oleh ilmuwan tanah di *United States Departement of Agriculture, Natural Resources Conservation*

Service. Pengkelasan ini didasarkan oleh respon tanah dalam laju transmisi air, tekstur, struktur, tingkat pembengkakan ketika jenuh terhadap limpasannya.

II.10.2 Curve Number (CN) dan Impervious

Curve Number (CN) merupakan pendekatan empiris guna mengestimasi aliran permukaan (runoff) dari hubungan antara hujan, tutupan lahan serta kelompok hidrologi tanah / Hydrologic Soil Group (HSG) dari karakteristik DAS. Sedangkan impervious merupakan kedapapan, atau luas dari wilayah yang kedap atau tidak dapat menyerap air.

Tabel-1 Nilai CN dan Impervious

Tutupan Lahan	Impervious	Harga CN "Hydrologic Soil Group"			
		A	B	C	D
Badan Air	100	100	100	100	100
Hutan	5	30	55	70	77
Lahan Terbuka	5	74	83	88	90
Pemukiman	30	57	72	81	86
Perkebunan	5	43	65	76	82
Pertanian	5	61	70	77	80
Sawah	5	63	75	83	87

II.11 Software HEC-HMS

HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) merupakan sebuah perangkat lunak/software yang dikembangkan oleh U.S Army Corps of Engineering. Software ini secara khusus dibuat untuk analisis hidrologi dengan menyimulasikan suatu proses curah hujan serta limpasan langsung (run off) dari sebuah wilayah sungai atau DAS.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Alat dan Data Penelitian

- Alat Penelitian

Berikut merupakan peralatan dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini :

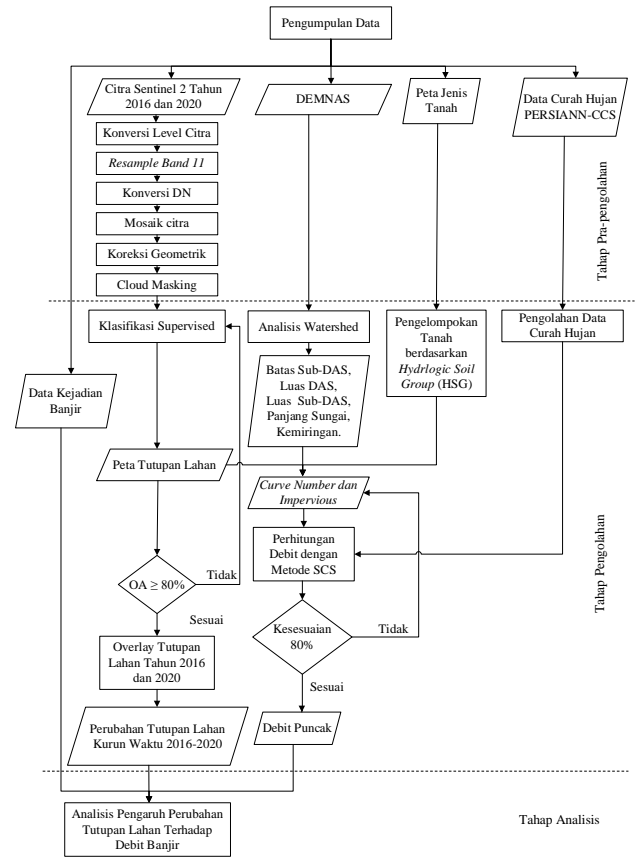
 - Laptop HP Pavilion x360 Convertible 14-cd1xx, Intel ® Core ™ i7-8565U CPU
 - Software Aprob 4.1
 - Software HEC-HMS 4.3
 - Software ArcMap 1.5
 - Software ENVI Classic 5.1
 - Software QGIS 3.12.2
 - Software IBM SPSS Statistics 26
 - Microsoft Office 2019
- Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

 - Citra Satelit Sentinel-2 wilayah DAS Bodri tahun 2016 dan 2020 (sumber: USGS Earth Explorer)
 - DEMNAS (sumber: BIG)
 - Data Curah Hujan PERSIANN-CCS (sumber: chrs.web.uci.edu)
 - Peta Jenis Tanah, Peta Batas DAS dan Peta Aliran Sungai (sumber: BPDAS HL Pemali Jratun)

- Data Pencatatan Debit Harian Sungai Bodri (sumber: BPSDA Bodri Kuto)

III.2 Diagram Alir Penelitian

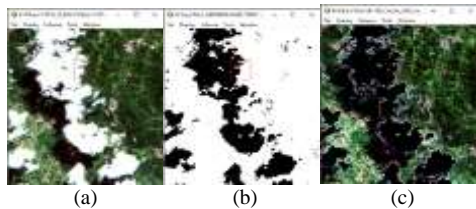


Gambar-2 Diagram alir penelitian

III.3 Tahap Pra-pengolahan

Tahap pra-pengolahan terdiri dari pengumpulan data, konversi level citra, resample, konversi DN ke reflektan, mosaik, koreksi geometrik dan cloud masking. Konversi level Sentinel-2 dari Level-1C menjadi Level-2A dengan perangkat lunak Sen2Cor, dilakukan pada citra tahun 2016. karena produk yang tersedia untuk di unduh masih di level-1C. Resample digunakan untuk menyamakan ukuran piksel, dilakukan pada Band 11 untuk mengubah ukuran piksel dari 20m x 20m menjadi 10m x 10m. Konversi DN menjadi reflektan dilakukan karena produk Sentinel-2 memiliki resolusi radiometrik 12 bit namun diubah menjadi reflektan dan disimpan dalam bilangan bulat 16 bit, untuk keperluan cloud masking, diperlukan nilai reflektan sehingga dilakukan konversi nilai DN agar nilai radiometrik citra kembali ke rentang 0 -1. Wilayah penelitian DAS Bodri terbagi menjadi 2 scene, oleh karena itu diperlukan proses mosaic, proses ini dilakukan dengan toolbox pada QGIS yaitu OrfeoToolbox (OTB). Citra satelit Sentinel-2 pada dasarnya telah terkoreksi geometrik, namun untuk mengintegrasikan dengan kebijakan satu peta menggunakan standar Sistem Referensi Geospasial Indonesia atau SRGI perlu dilakukan koreksi geometrik terhadap citra

yang digunakan pada penelitian ini. *Cloud masking* dilakukan untuk menutupin atau menghilangkan tutupan awan pada citra yang dapat mengganggu proses klasifikasi, deteksi awan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan batas 0,09 di mana piksel di atas 0,09 akan terbaca sebagai awan. Pengolahan deteksi awan dilakukan dengan Band Math pada ENVI dengan *expression* $(B2 \text{ GE } 0.09) * 0 + (B2 \text{ LT } 0.09) * 1$ di mana B2 merupakan kanal biru dalam reflektan.



Gambar-3 Cloud Masking (a) sebelum (b) cloud masking (c) setelah

III.4 Tahap Pengolahan

Tahap pengolahan dilakukan klasifikasi *supervised*, perhitungan matriks konfusi, pembuatan aliran sungai dan batas sub-DAS, perhitungan kemiringan, perhitungan curah hujan, penentuan nilai CN dan *Impervious* serta perhitungan debit puncak. Klasifikasi supervised digunakan untuk kelaskan tutupan lahan yang ada di DAS Bodri, dilakukan dengan metode *maximum likelihood*, pengambilan sampel dilakukan dengan bantuan *color composite* untuk identifikasi objek pada citra. *Color composite* yang digunakan adalah *natural color 432*; *water detection 8,11,4*; *false color 8,4,3*; dan *agriculture 11,8,2*. Setelah dilakukan klasifikasi tutupan lahan dilakukan uji bagaimana hasil klasifikasi tersebut, dilakukan menggunakan matriks konfusi yang mana hasil klasifikasi di bandingkan dengan keadaan sesungguhnya yang ada di lapangan.

Tabel-2 Matriks Konfusi

Tutupan Lahan		Interpretasi Citra							Jumlah
		Badan Air	Hutan	Lahan Terbuka	Perumahan	Perkebunan	Pertanian	Sawah	
Survey	Badan Air	12	0	0	0	0	0	0	12
	Hutan	0	10	0	0	1	0	0	11
	Lahan Terbuka	0	0	16	0	0	0	0	16
	Perumahan	0	0	0	18	0	0	0	18
	Perkebunan	0	1	0	0	10	0	0	11
	Pertanian	0	0	1	0	1	10	0	12
	Sawah	0	0	0	0	0	2	10	12
Jumlah		12	11	17	18	12	12	10	92

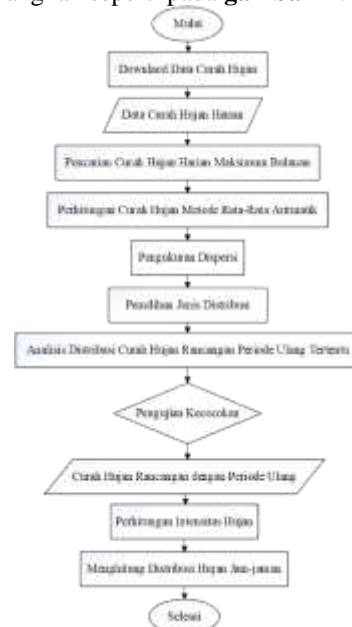
Dari tabel-2 kemudian dilakukan perhitungan *overall accuracy* dengan hasil 93,478% dan *kappa accuracy* sebesar 92,341%. Klasifikasi dianggap benar jika hasil perhitungan matriks konfusi $\geq 80\%$, maka hasil klasifikasi pada penelitian ini dapat digunakan untuk proses lebih lanjut.

Pembuatan aliran sungai dan batas sub-DAS dilakukan dengan data masukan berupa DEMNAS

pada perangkat lunak ArcGIS pada *Toolbox Hydrology*. Dari aliran sungai dan batas sub-DAS maka akan digunakan untuk perhitungan parameter-parameter yang di perlukan untuk pencarian debit puncak seperti panjang sungai, elevasi tertinggi dan terendah, luas sub-DAS, data-data ini digunakan untuk perhitungan Tc dan Lagtime. DEMNAS dalam penelitian ini juga digunakan untuk mendapatkan kemiringan lahan.

Perhitungan CN dan *Impervious* dilakukan dengan pembacaan tabel-1 kemudian dilakukan perhitungan CN dan *Impervious* komposit pada setiap sub-DAS dengan memerhitungkan luasan setiap tutupan lahan. Perhitungan debit puncak dilakukan pada perangkat lunak HEC-HMS, pengolahan mulai dengan pembuatan *basin model* atau pemodelan DAS yang akan di cari nilai debit puncaknya, pada penelitian ini menggunakan 25 sub-DAS sesuai dengan hasil ekstraksi DEMNAS. Kemudian dilakukan pengaturan *meteorologic model, control specified, dan time series data*. Kemudian memasukkan setiap parameter yang ada, dan *run* untuk mendapatkan nilai debit puncak.

Perhitungan curah hujan dilakukan dengan langkah-langkah seperti pada gambar-4.



Gambar-4 Diagram Alir Pengolahan Curah Hujan

III.5 Tahap Analisis

Tahap analisis terdiri dari *overlay* tutupan lahan 2016 dan 2020 untuk mengetahui perubahan tutupan lahan, *overlay* yang digunakan adalah *intersect*. Setelah didapat perubahan lahan, kemudian dilakukan regresi linier sederhana terhadap data perubahan tutupan lahan dan perubahan debit sungai. Proses ini dilakukan pada perangkat lunak IBM SPSS Statistics 26.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Klasifikasi Tutupan Lahan

IV.1.1 Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2016

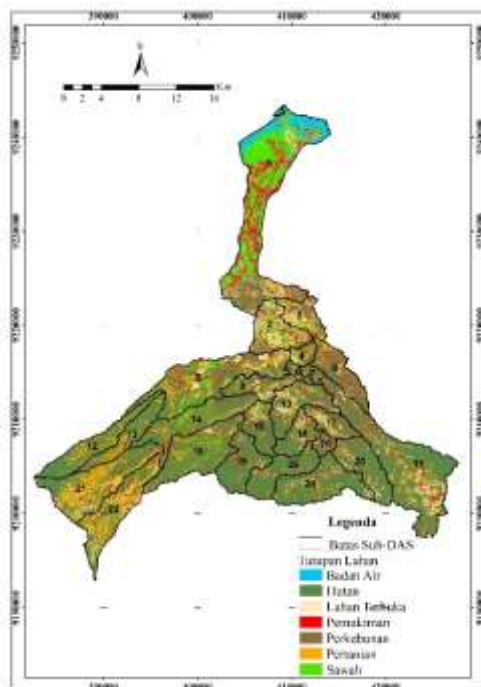
DAS Bodri merupakan salah satu DAS prioritas yang mana DAS ini mencakup beberapa

kabupaten di antaranya Kabupaten Kendal, Kabupaten Semarang, Kabupaten Temanggung dan Kabupaten Wonosobo. Das ini memiliki luas sebesar 627,148 Km² . Untuk keperluan perhitungan debit sungai tutupan lahan DAS Bodri terbagi menjadi tujuh kelas yaitu badan air, hutan, lahan terbuka, pemukiman, perkebunan, pertanian dan sawah. Hasil klasifikasi ini merupakan hasil ekstraksi dari citra satelit Sentinel-2.

Tabel-3 Tutupan Lahan DAS Bodri Tahun 2016

Tutupan Lahan	Luas (km ²)	Persentase (%)
Badan Air	14,53928717	2,318
Hutan	253,7651606	40,463
Lahan Terbuka	49,26288052	7,855
Pemukiman	32,98865297	5,260
Perkebunan	127,2553933	20,291
Pertanian	93,40140945	14,893
Sawah	55,93575561	8,919
Jumlah	627,1485396	100

Luas setiap tutupan lahan DAS Bodri pada tahun 2016 ditampilkan dalam **Tabel-3**. Tutupan lahan terluas yaitu hutan dengan luas sebesar 253,765 Km² dan tutupan lahan terkecil yaitu badan air sebesar 14,539 Km².



Gambar-5 Tutupan Lahan DAS Bodri Tahun 2016

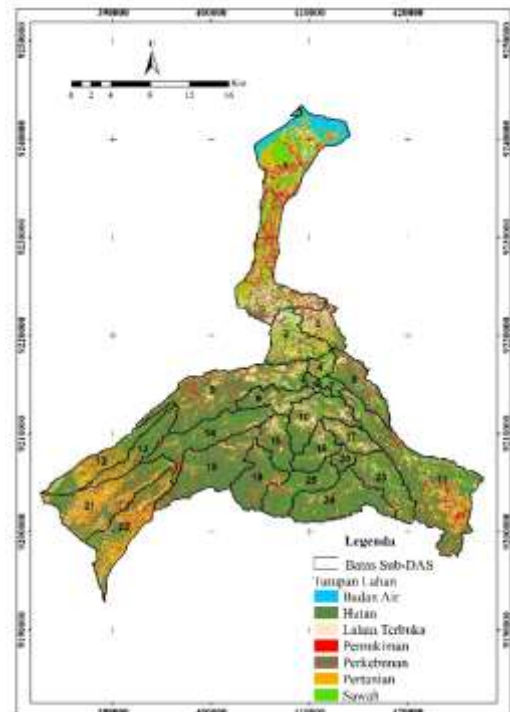
IV.1.2 Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2020

Tutupan lahan pada DAS Bodri dianalisis kembali pada tahun 2020, **Tabel-4** menunjukkan luasan setiap kelas tutupan lahan. Badan Air memiliki luas sebesar 13,910 km², hutan seluas 215,726 km², lahan terbuka seluas 77,704 km², pemukiman seluas 37,335 km², perkebunan seluas 139,204 km², pertanian seluas 69,715 km² dan sawah seluas 73,554 km². di mana luas terbesar masih sama seperti pada

tahun 2016 yaitu tutupan lahan hutan sebesar 215,726 Km². Tutupan lahan badan air memiliki luasan terkecil yaitu 13,920 Km². Data klasifikasi tutupan lahan ini juga di ekstraksi dari data satelit Sentinel-2 sama seperti yang dilakukan pada saat pengolahan di tahun 2016.

Tabel-4 Tutupan Lahan DAS Bodri Tahun 2020

Tutupan Lahan	Luas (km ²)	Persentase (%)
Badan Air	13,90992123	2,218
Hutan	215,7256669	34,398
Lahan Terbuka	77,7044593	12,390
Pemukiman	37,33531027	5,953
Perkebunan	139,2035743	22,196
Pertanian	69,71538612	11,116
Sawah	73,55422153	11,728
Jumlah	627,1485396	100



Gambar-6 Tutupan Lahan DAS Bodri Tahun 2020

IV.1.3 Perubahan Tutupan Lahan

Tutupan lahan dari tahun 2016 hingga tahun 2020 mengalami perubahan-perubahan seperti yang ditampilkan dalam **Tabel-5**. Kelas hutan menunjukkan perubahan berupa pengurangan luas yang paling besar yaitu seluas 38,039 Km². Dan pada kelas tutupan lahan terbuka mengalami peningkatan yang paling besar yaitu sebesar 28,442 Km².

Tutupan lahan pada tahun 2016 ke 2020 terjadi perubahan yang cukup bervariasi. Seperti perubahan yang banyak terjadi yaitu pada tutupan lahan hutan menjadi sawah, perkebunan menjadi lahan terbuka, lahan terbuka menjadi pertanian.

Adapula tutupan lahan sawah menjadi pertanian ataupun sebaliknya, hal ini dikarenakan lahan sawah tidak selalu digunakan untuk menanam

pagi melainkan juga untuk tanaman pertanian yang lainnya tergantung pada musim tanam.

Tabel-5 Perubahan Tutupan Lahan DAS Bodri

Tutupan Lahan	Luas (km ²)		Perubahan
	2016	2020	
Badan Air	14,53928	13,90992	-0,6293
Hutan	253,7651	215,7256	-38,039
Lahan Terbuka	49,26288	77,70445	28,441
Pemukiman	32,9886	37,33531	4,3466
Perkebunan	127,2553	139,2035	11,948
Pertanian	93,40140	69,71538	-23,686
Sawah	55,93575	73,55422	17,6184



Gambar-7 Grafik Perubahan Tutupan Lahan DAS Bodri

IV.2 Perhitungan CN dan Impervious

Curve Number (CN) menunjukkan estimasi aliran permukaan (runoff) dari hubungan antara hujan, tutupan lahan serta kelompok hidrologi tanah / Hydrologic Soil Group (HSG). Sedangkan %impervious merupakan kedekatan, atau luas dari wilayah yang kedap atau tidak dapat menyerap air. Nilai CN dan Impervious setiap sub-DAS diperlukan sebagai salah satu parameter masukan dalam penentuan debit puncak. Dengan nilai CN per sub-DAS juga dapat mengetahui nilai debit puncak setiap sub-DAS.

Nilai CN pada tahun analisis 2016 tertinggi ada pada sub-DAS 2 yaitu 84,705 dan terendah berada pada sub-DAS 25 yaitu 78,246. Sedangkan nilai impervious tertinggi ada pada sub-DAS 1 sebesar 21,055 dan yang terendah adalah sub-DAS 22 yaitu 6,492. Nilai CN pada tahun analisis 2020 tertinggi ada pada sub-DAS 2 yaitu 86,116 dan terendah berada pada sub-DAS 19 yaitu 79,668. Sedangkan nilai impervious tertinggi ada pada sub-DAS 1 sebesar 20,824 dan yang terendah adalah sub-DAS 24 yaitu 5,647. Nilai tertinggi dan terendah pada tahun analisis 2016 dan 2020 berada pada sub-DAS yang berbeda, hal ini menunjukkan adanya perubahan lahan yang tidak selaras atau sama pada seluruh sub-DAS melainkan perubahan yang terjadi yaitu berubah-ubah.

Pada sub-DAS 1 CN dari tahun 2016 ke tahun 2020 mengalami peningkatan sebesar 0,658 sedangkan nilai impervious pada sub-DAS ini mengalami penurunan dari 21,055 menjadi 20,824 yaitu turun sebesar -0,231. Sub-DAS 2 mengalami peningkatan pada keduanya baik CN dan impervious,

nilai CN meningkat sebesar 1,410 dan impervious meningkat sebesar 0,490.

Perubahan nilai ini seiring dengan adanya perubahan tutupan lahan pada sub-DAS tersebut karena besarnya CN dan impervious komposit ini mempertimbangkan tutupan lahan pada sub-DAS, luasan tutupan lahan tersebut dan jenis tanahnya. Sehingga ketika tutupan lahan berubah dalam jumlah luasannya maka nilai CN dan impervious ini akan berubah juga.

Tabel-6 Perubahan CN dan Impervious DAS Bodri

Sub DAS	CN		%Impervious		Perubahan	
	2016	2020	2016	2020	CN	%Impervious
1	83,60992329	84,26805326	21,05478104	20,82361846	0,65813	-0,23116
2	84,70549073	86,1164474	9,014735473	9,504890934	1,410937	0,490135
3	83,37313883	85,35022857	6,785901178	8,049995131	1,97709	1,264094
4	82,88570304	84,69348224	8,702318936	9,901747217	1,807779	1,199228
5	81,64522445	81,93353735	6,943514225	6,681525872	0,288113	-0,26199
6	81,40891999	82,89652957	8,367013807	8,98076338	1,48761	0,613749
7	80,84455643	82,24844223	6,40814249	6,763077123	1,403886	0,354835
8	81,35351584	81,81330508	6,056420867	6,357211997	0,459789	0,300791
9	81,81310345	81,7898566	6,04711579	6,393509441	-0,02325	0,346394
10	81,06020997	82,53930907	6,019710598	6,227786985	1,479099	0,208076
11	79,94298762	81,56505202	7,016636726	7,205830655	1,622064	0,189194
12	78,35797993	81,04032201	5,630085778	5,960146972	2,682342	0,330061
13	78,76298902	80,36198868	5,981942712	5,927093303	1,59898	-0,05483
14	80,64046161	79,84071663	6,137791052	6,152777576	-0,79974	0,014987
15	80,30609319	80,9489499	5,611236921	5,995384093	0,642855	0,384147
16	80,39828728	81,30375115	6,726834866	6,966962435	0,905464	0,240128
17	81,59111621	83,23699399	5,694541383	6,02458649	1,645877	0,330045
18	80,48295644	79,66758161	5,734505338	5,77274449	-0,81537	0,038239
19	78,76209474	79,21790582	5,722632595	5,924836432	0,455811	0,202204
20	80,93763112	81,78026014	6,807350464	7,015641814	0,822629	0,208291
21	79,84969863	81,55188243	6,769842925	6,399993884	1,702184	-0,36983
22	80,31137412	81,72660452	6,492118065	6,48256072	1,41523	-0,00956
23	79,45035972	80,7832855	5,729779511	6,019095572	1,332926	0,289116
24	78,77328275	79,64894652	5,654237858	5,647185795	0,875664	-0,00705
25	78,24602484	79,82505089	5,901115371	6,018509813	1,579026	0,117194

IV.3 Curah Hujan

Data curah hujan harian maksimum yang diperoleh dari data curah hujan global PERSIANN-CCS diolah kembali untuk memilih distribusi yang digunakan sesuai syarat. Distribusi yang memenuhi adalah Log Pearson III seperti pada Tabel-7. Kemudian Distribusi ini dilakukan pengujian, pengujian sebaran yang dilakukan dengan metode Chi-Square dan Smirnov-Kolmogorov pada software AProb menunjukkan bahwa keduanya memenuhi, sehingga penentuan hujan rencana menggunakan distribusi Log Pearson III dapat diterima. Dalam penelitian ini menggunakan kala ulang 2 tahun dengan nilai hujan rencana yang digunakan adalah 126 mm.

Tabel-7 Syarat Pemilihan Distribusi

Jenis Distribusi	Persyaratan	Hasil	Keterangan
Normal	Cs ≈ 0 ± 0,3	Cs = 0,813	Tidak Memenuhi
	Ck ≈ 3,00	Ck = -0,327	
Log Normal	Cs = Cv ³ + 3Cv = 0,65595	Cs = 0,813	Tidak Memenuhi
	Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ + 16Cv ² + 3 Ck = 3,772248453	Ck = -0,327	
Gumbel	Cs = 1,14	Cs = 0,813	Tidak Memenuhi
	Ck = 5,4	Ck = -0,327	
Log Pearson III	Selain Diatas	Cs = 0,813 Ck = -0,327	Memenuhi

Di mana: Cs = Koefisien Skewness; Ck = Koefisien Kurtosis; Cv = Koefisien Variasi

Tabel-8 Intensitas Hujan

Durasi (Jam)	Intensitas Hujan
1	43,682
2	27,518
3	21,000
4	17,335
5	14,939
6	13,229

IV.4 Perhitungan Debit Puncak

Debit puncak pada pengolahan ini dilakukan pada elemen outlet yaitu yang berada pada hilir DAS Bodri tepatnya pada pemodelan ini berada pada sub-DAS 1. Pada outlet terdapat beberapa elemen yang terdapat di dalamnya, yaitu dari Reach-1 dan Sub-DAS 1. Dari hasil pemodelan yang dilakukan pada tahun 2016 debit puncak DAS Bodri adalah sebesar 468,5 m³/s.

Tahun 2020 dengan adanya perubahan lahan seperti yang telah dibahas sebelumnya, debit puncak mengalami peningkatan. Dalam pencarian debit puncak dilakukan dengan parameter yang sama kecuali pada tutupan lahan karena fokus penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan tutupan lahan pada debit puncak. Pada tahun 2020 ini nilai debit puncak yang di dapatkan adalah 487,9 m³/s.

Pengolahan debit puncak 2020 ini nilainya dibandingkan dengan menggunakan data pencatatan debit yang ada di lapangan. Nilai debit tertinggi di lapangan sebesar 442,747 m³/s dan nilai hasil pemodelan adalah 487,9 m³/s. Dari kedua data tersebut dilakukan pengujian *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk mengetahui angka kesalahan pada perbandingan antara data hasil simulasi dan lapangan.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_2 - y_1}{y_2}\right)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{1} \left(\frac{487,9 - 442,747}{442,747}\right)^2}$$

$$RMSE = 0,10198 \times 100 \%$$

$$= 10,198 \%$$

Setelah dilakukan perhitungan RMSE maka dapat diketahui bahwa error data hasil simulasi dengan data lapangan sebesar 10,198%. Berdasarkan hasil tersebut nilai parameter dianggap cukup sesuai dengan kondisi di lapangan karena tidak terlalu jauh berbeda, selain itu nilai pencarian debit puncak merupakan kemungkinan debit tertinggi yang akan terjadi. Apabila nilai debit di lapangan lebih kecil dari nilai pada pemodelan maka hasil pemodelan bisa dianggap benar.

Debit puncak pada tahun 2016 hasil perhitungan merupakan 468,5 m³/s sedangkan pada tahun 2020 nilai debit puncaknya yaitu sebesar 487,9 m³/s. Nilai perubahan debit puncak pada tahun 2016 ke tahun 2020 adalah 19,4 m³/s.

IV.5 Regresi Linier Sederhana

Regresi Linier Sederhana digunakan untuk mengetahui atau menguji pengaruh antara variabel bebas atau faktor penyebab (X) terhadap variabel terikat atau akibatnya (Y). Penelitian ini variabel X merupakan perubahan CN pada setiap sub-DAS dan variabel Y merupakan perubahan debit puncak dari tahun 2016 dan 2020. Dasar pengambilan keputusan dalam uji regresi linier sederhana dapat mengacu pada nilai signifikansinya dibandingkan dengan nilai probabilitas 0,05 atau dengan membandingkan nilai t hitung dan t tabelnya.

Hasil regresi linier sederhana yang dilakukan di SPSS menampilkan bahwa nilai R sebesar 0,753 menunjukkan nilai korelasi antara X dan Y adalah sebesar 0,753 di mana nilai ini masuk dalam kategori korelasi kuat yaitu di rentang 0,60 – 0,799. Nilai R square dari hasil regresi sebesar 0,549 atau 54,9% yang berarti bahwa X dapat menjelaskan Y sebesar 54,9% dan sisanya dipengaruhi oleh faktor atau parameter-parameter lain dalam penentuan debit puncak.

Nilai signifikansi dari hasil pengolahan adalah 0,0000137 di mana nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05 maka dapat disimpulkan bahwa variabel X berpengaruh terhadap variabel Y. Persamaan regresi didapat dari nilai constant (a) adalah 0,492 dan nilai debit (b / koefisien regresi) sebesar 0,147 sehingga menghasilkan persamaan regresi di bawah ini.

$$Y = a + bX$$

$$Y = 0,492 + 0,147X$$

IV.6 Analisis Perubahan Debit Puncak

Penelitian ini terfokus pada analisis pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap perubahan debit puncak. Sedangkan pada kondisi yang sebenarnya, debit puncak juga dipengaruhi oleh faktor yang lainnya yaitu luasan setiap DAS, kemiringan lahan. Hasil analisis nilai perubahan CN, perubahan debit, kemiringan lahan dan lokasi sub-DAS, didapatkan tiga sub-DAS yang patut menjadi perhatian, yaitu pada sub-DAS 11 di mana terjadi peningkatan debit yang paling besar yaitu sebesar 13,9 m³/s dan pada sub-DAS ini peningkatan nilai CN cukup besar sebesar 1,622 pada peta sub-DAS terlihat bahwa lokasi sub-DAS 11 ini terletak pada hulu DAS Bodri dan memiliki kemiringan sebesar 27,243% di mana termasuk dalam kemiringan yang tinggi. Perubahan tutupan lahan yang banyak terjadi pada sub-DAS ini adalah dari hutan menjadi lahan terbuka dan hari hutan menjadi sawah.

Nilai perubahan CN tertinggi terdapat pada sub-DAS 12 yaitu 2,682 berakibat pada meningkatnya debit sungai sebesar 9,7 m³/s dan berada pada wilayah yang memiliki kemiringan tinggi yaitu 34,860%, subDAS-12 ini juga harus menjadi sub-DAS yang di perhatikan karena sub-DAS ini juga berada pada hilir DAS Bodri di wilayah Barat yang didominasi adanya perkebunan. Perubahan banyak terjadi pada tutupan lahan hutan yang berubah menjadi lahan terbuka, pertanian dan

sawah. Apabila debit tidak dapat dikendalikan maka dapat memicu terjadinya banjir dan kelongsoran.

Sub-DAS 21 memiliki kemiringan yang paling besar yaitu 36,138% meskipun nilai CN sebesar 1,702 namun hal ini berdampak pada peningkatan debit sungai yang cukup besar yaitu 11,2 m³/s. Peningkatan debit ini diakibatkan karena adanya permukaan yang cukup curam sehingga air mengalir dengan deras, maka sub-DAS 21 juga perlu menjadi perhatian agar dapat dikendalikan sehingga mengurangi adanya banjir dan longsor. Perubahan lahan yang banyak terjadi pada tutupan lahan ini adalah hutan menjadi pertanian.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

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

1. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan cara *supervised classification* dengan skema klasifikasi sesuai dengan klasifikasi USGS dan SNI yang kemudian di modifikasi sesuai dengan kebutuhan untuk mendapatkan nilai debit puncak sesuai dengan US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. Tutupan lahan pada DAS Bodri terbagi menjadi tujuh kelas yaitu badan air, sawah, hutan, pemukiman, pertanian, perkebunan dan lahan terbuka. Perubahan tutupan lahan tahun 2016 ke tahun 2020 pada kelas tutupan lahan badan air seluas berkurang 0,629 km², hutan berkurang 38,039 km², lahan terbuka bertambah 28,442 km², pemukiman bertambah 4,347 km², perkebunan bertambah seluas 11,948 km², pertanian berkurang sebesar 23,686 km² dan kelas tutupan lahan sawah meningkat sebanyak 17,618 km².
2. Hasil perhitungan debit puncak menggunakan pada software HEC-HMS dengan kala ulang 2 tahun pada tahun 2016 yaitu sebesar 468,5 m³/s dan pada 2020 sebesar 487,9 m³/s. Nilai perubahan debit puncak pada tahun 2016 ke tahun 2020 adalah 19,4 m³/s.
3. Hasil regresi linier sederhana menunjukkan bahwa pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap perubahan debit sungai adalah 54,9% sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan tutupan lahan mempengaruhi perubahan debit sungai.

V.2 Saran

Penyusunan penelitian ini tidak terlepas dari adanya keterbatasan dan kendala, berikut beberapa saran yang dapat diperhatikan untuk peneliti selanjutnya dalam penyusunan penelitian yang serupa, yaitu:

1. Menggunakan rentang tahun yang lebih lama agar nilai perubahan debit dapat lebih signifikan.
2. Menggunakan curah hujan global yang terkalibrasi.

3. Memastikan citra yang digunakan terbebas dari awan, karena adanya tutupan awan akan menyebabkan hasil klasifikasi yang kurang maksimal meski telah dilakukan penambalan.
4. Penentuan titik untuk koreksi geometrik dilakukan di seluruh citra tidak hanya pada wilayah penelitian saja.
5. Koreksi geometrik dilakukan pada masing-masing citra sebelum dilakukan mosaic. Pada penelitian ini menemui kendala yaitu membutuhkan meta data pada saat proses mosaic sedangkan apabila di koreksi geometrik terlebih dahulu maka meta data pada citra akan berubah.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Bashit, N., Prasetyo, Y., Sukmono, A., & Wicaksono, W. (2019). Kajian Perkembangan Lahan Terbangun Kota Pekalongan Menggunakan metode Urban Index (UI). *Elipsoida Jurnal Geodesi dan Geomatika*.
- BIG. (2014). *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Tentang Pedoman Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove*.
- Danoedoro, P. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: ANDI.
- ESA. (2012). *Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services (ESA SP-1322/2 March 2012)*. ESA Communications.
- ESA. (2018). Sen2Cor. Retrieved from <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>
- Lillesand, & Kiefer. (1990). *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Parapat, A. D., Sulistian, T., & Aristomo, D. (2019). Analisis Akurasi Vertikal Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) Studi Kasus Kota Medan. *FIT ISI 2019 dan ASEANFLAG 72nd Council Meeting*.
- Prahasta, E. (2008). *Remote Sensing: Praktis Penginderaan Jauh & Pengolahan Citra Digital Dengan Perangkat Lunak ER Mapper*. Bandung: Informatika Bandung.
- Rosalina, L., & Wibisono, Y. (n.d.). (*Developing One Map for Spatial Planning*). 157–166.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yan Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi.
- Yu, L., & dkk. (2014). Meta-discoveries from a synthesis of satellite-based lan-cover mapping research. *International Journal of Remote Sensing*. doi:10.1080/01431161.2014.930206