

BAB 4

ANALISIS PEMODELAN GENANGAN BANJIR

4.1 Analisis Proses Pemodelan Genangan Banjir

Dalam Proses pemodelan genangan banjir menggunakan data Citra Sentinel-1A yang merupakan data citra SAR (Synthetic Aperture Radar) yang mudah didapat dari ESA. Pemilihan data Sentinel-1A dalam proses analisis banjir ini adalah pemanfaatan citra aktif yang memiliki kemampuan dalam menerasir awan, dimana awan sering menutupi wilayah yang terjadi banjir, hal ini membuat kita bisa mendapatkan gambaran kawasan yang terendam banjir tanpa memperdulikan tutupan awan. Kemudian citra aktif juga mampu bekerja di malam hari, karena sentinel tidak bergantung pada cahaya bantuan dari objek lain seperti matahari, karena menggunakan energi dari wahana satelite itu sendiri, sehingga tetap mampu menghasilkan informasi untuk deteksi banjir di malam hari, dimana hal ini memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan terus-menerus oleh antena dan diterima kembali oleh receiver yang ada dari SAR. Kemudian dengan memanfaatkan gelombang yang ada dari data SAR ini mempunyai keunggulan dalam deteksi air dengan pemanfaatan polarisasi VV (Vertical to Vertical) yang memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap Air dan Tanah kosong, dan hal ini dapat juga dapat mempermudah dalam identifikasi sebaran banjir, karena genangan air yang ada akan memberikan nilai hamburan balik/backscatter yang lebih rendah dibanding objek keras seperti bangunan, dengan menganalisis nilai Backscatter yang ada dimana jika terdeteksi rendah dapat diasumsikan sebagai Air. Dan salah satu keunggulan data SAR adalah dalam menganalisis data untuk kegunaan tanggap darurat, seperti rapid assesment yang memerlukan evaluasi kejadian banjir dengan cepat untuk mengetahui wilayah yang terdampak sehingga bisa dilakukan langkah mitigasi lanjutan.

Dimana dalam pengolahan data untuk pemodelan genangan banjir menggunakan Cloud Computing Google Earth Engine (GEE), yang dimana penggunaan GEE ini dipilih guna mendukung analisis yang lebih fleksibel dan Citra yang digunakan merupakan Sentinel 1 GRD, dimana citra GRD merupakan koleksi citra sentinel-1 yang telah siap digunakan dari *Google Earth Engine* (GEE), citra GRD ini diperoleh dari dalam mode Interferometrik (IW). Dimana mode ini memiliki resolusi spasial yang lebih baik serta ukuran piksel 10 m yang bisa menjadikan pengolahan data menjadi lebih detail untuk bisa mendeteksi terjadinya Banjir.

4.1.1 Preprocessing Citra Sentinel 1

1. Proses Penambahan lokasi studi pada Google Earth Engine

Dimana dalam hal ini melakukan input data SHP administrasi Kabupaten Pati dalam format Zip yang kemudian di import ke dalam code editor, kemudian dilakukan Visualisasi data Administrasi.

```
Imports (1 entry)
var table: Table projects/ee-ryanandii506/assets/administrasi_kecamatan_ar_331820230809190003
  type: FeatureCollection
  id: projects/ee-ryanandii506/assets/administrasi_kecamatan_ar_331820230809190003
  version: 1739170039425016
  columns: Object (6 properties)
  properties: Object (1 property)

1 var warna = {color: "red",
2   fillColor: '0000002',
3   width: 0.5};
4 Map.addLayer(table.style(warna), {}, 'Batas Administrasi');
5
6 var wrapper = require('users/adugnagirma/gee_s1_ard:wrapper');
7 var helper = require('users/adugnagirma/gee_s1_ard:utilities');
```

Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 1 Code Editor Wilayah Administrasi

Dalam code editor diatas dilakukan input batas administrasi lokasi pengolahan data sentinel 1, yang kemudian dilakukan visualisasi batas administrasi dengan pemilihan warna "var warna = {color: "red"," dan pemilihan ketebalan batas administrasi dengan tebal "0.5" dan diberi nama "Batas Administrasi" untuk penambahan layer datanya.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 2 Hasil Visualisasi Batas Administrasi

2. Penentuan Parameter untuk pemrosesan awal citra

Penentuan Parameter merupakan tahap untuk mengkoreksi citra yang akan diolah nantinya agar hasil yang didapat bisa lebih detail serta menghilangkan gangguan yang ada dalam citra untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

a. Sebelum Banjir

```
var parameter = { //1. Data Selection
  START_DATE: "2023-10-02",
  STOP_DATE: "2023-10-05",
  POLARIZATION: 'VVH',
  ORBIT : 'BOTH',
  GEOMETRY: table,
  //2. Additional Border noise correction
  APPLY_ADDITIONAL_BORDER_NOISE_CORRECTION: true,
  //3. Speckle filter
  APPLY_SPECKLE_FILTERING: true,
  SPECKLE_FILTER_FRAMEWORK: 'MULTI',
  SPECKLE_FILTER: 'BOXCAR',
  SPECKLE_FILTER_KERNEL_SIZE: 15,
  SPECKLE_FILTER_NR_OF_IMAGES: 10,
  //4. Radiometric terrain normalization
  APPLY_TERRAIN_FLATTENING: true,
  DEM: ee.Image('USGS/SRTMGL1_003'),
  TERRAIN_FLATTENING_MODEL: 'VOLUME',
  TERRAIN_FLATTENING_ADDITIONAL_LAYOVER_SHADOW_BUFFER: 0,
  //5. Output
  FORMAT : 'DB',
  CLIP_TO_ROI: true,
  SAVE_ASSETS: false
}
```

Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 3 Code Editor Pemanggilan Citra dan Peneraoan Filter Sebelum Banjir

b. Saat Banjir

```
var parameter = { //1. Data Selection
  START_DATE: "2024-03-12",
  STOP_DATE: "2024-03-17",
  POLARIZATION: 'VVH',
  ORBIT : 'BOTH',
  GEOMETRY: table,
  APPLY_ADDITIONAL_BORDER_NOISE_CORRECTION: true,
  //3. Speckle filter
  APPLY_SPECKLE_FILTERING: true,
  SPECKLE_FILTER_FRAMEWORK: 'MULTI',
  SPECKLE_FILTER: 'BOXCAR',
  SPECKLE_FILTER_KERNEL_SIZE: 15,
  SPECKLE_FILTER_NR_OF_IMAGES: 10,
  //4. Radiometric terrain normalization
  APPLY_TERRAIN_FLATTENING: true,
  DEM: ee.Image('USGS/SRTMGL1_003'),
  TERRAIN_FLATTENING_MODEL: 'VOLUME',
  TERRAIN_FLATTENING_ADDITIONAL_LAYOVER_SHADOW_BUFFER: 0,
  //5. Output
  FORMAT : 'DB',
  CLIP_TO_ROI: true,
  SAVE_ASSETS: false
}
```

Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 4 Pemanggilan Citra dan Penerapan Filter Sesudah Banjir

Dalam kolom code editor diatas telah ditentukan parameter apa yang akan digunakan sebelum dilakukan pemanggilan citra Sentinel 1 :

- **Pemilihan Data**

Dalam proses penentuan pemilihan data yang digunakan menggunakan 2 waktu yaitu waktu sebelum banjir dan saat banjir, dimana dalam code editor diatas merupakan code untuk memilih citra pada tanggal 4 Oktober 2023 (Sebelum Banjir) dan Tanggal 15 Maret 2024 (Saat Banjir), dengan pemilihan polarisasi “VVVH”, dimana pemilihan polarisasi ini dikarenakan memiliki kelebihan dalam pemantauan perubahan bentuk permukaan bumi.

- **Koreksi Noise pada batas citra**

Dalam pengolahan data dilakukan koreksi Noise dengan perintah “`APPLY_ADDITIONAL_BORDER_NOISE_CORRECTION: true,`” yang dimana merupakan perintah untuk bisa melakukan eliminasi *noise* pada bagian tepi citra untuk bisa menghasilkan citra sentinel yang lebih baik. Dimana *noise* ini muncul saat pengubahan citra mentah menjadi produk jadi.

- **Melakukan *Speckle Filtering***

Speckle Filtering merupakan proses koreksi citra untuk bisa menghilangkan titik/bintik yang tidak diperlukan pada citra yang membuat citra menjadi lebih halus dan detail, sehingga air yang ada pada citra bisa terdeteksi secara penuh tanpa adanya gangguan, dan *Speckle Filtering* ini juga bisa membuat *Change Detection* lebih akurat.

- ***Radiometric Terrain Normalization (RTN)***

Radiometric Terrain Normalization memiliki fungsi dalam pra-processing citra guna mengurangi efek dari topografi permukaan bumi terhadap hamburan balik dari sensor aktif pada citra SAR. Dan dalam koreksi elevasi menggunakan DEM dari SRTM yang memiliki resolusi 1 detik (30 meter), yang cocok untuk digunakan pada Sentinel-1.

- **Luaran (*Output*)**

Dimana dalam hal ini luaran ini menggunakan Visualiasasi data yang liniear atau Db.

3. Pemrosesan Koleksi Citra Sentinel-1

Dalam Proses ini dilakukan untuk memberikan hasil dari pemrosesan dari fungsi sebelumnya,

```
109 //Preprocess the S1 collection
110 var s2_preprocces = wrapper.s1_preproc(parameter);
111
i 112 var s2 = s2_preprocces[0]
i 113 s2_preprocces = s2_preprocces[1]
114
```

Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 5 Code Editor Processing Citra dan Filter

4. Visualisasi Citra hasil Pengolahan

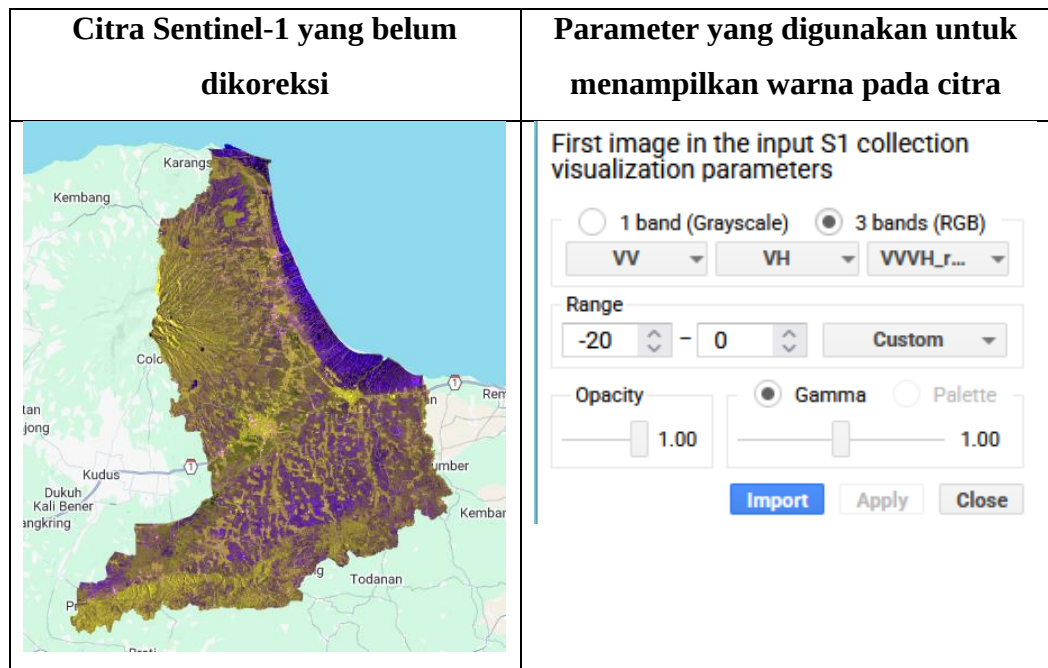
```
i 121 var visparam = {}
122 if (parameter.POLARIZATION=='VVH'){
123 if (parameter.FORMAT=='DB'){
124 var s2_preprocces_view = s2_preprocces.map(helper.add_ratio_lin).map(helper.lin_to_db2);
125 var s2_view = s2.map(helper.add_ratio_lin).map(helper.lin_to_db2);
i 126 visparam = {bands:['VV','VH','VVH_ratio'],min: [-20, -25, 1],max: [0, -5, 15]}
127 }
128 else {
129 var s2_preprocces_view = s2_preprocces.map(helper.add_ratio_lin);
130 var s2_view = s2.map(helper.add_ratio_lin);
i 131 visparam = {bands:['VV','VH','VVH_ratio'], min: [0.01, 0.0032, 1.25],max: [1, 0.31, 31.62]}
132 }
133 }
134 else {
135 if (parameter.FORMAT=='DB') {
136 s2_preprocces_view = s2_preprocces.map(helper.lin_to_db);
137 s2_view = s2.map(helper.lin_to_db);
i 138 visparam = {bands:[parameter.POLARIZATION],min: -25,max: 0}
139 }
140 else {
141 s2_preprocces_view = s2_preprocces;
142 s2_view = s2;
i 143 visparam = {bands:[parameter.POLARIZATION],min: 0,max: 0.2}
144 }
145 }
146
147 Map.centerObject(parameter.GEOMETRY, 12);
148
149 Map.addLayer(s1_view.first(), visparam, 'First image in the input S1 collection', true);
150 //Map.addLayer(s2_preprocces_view.first(), visparam, 'Setelah Banjir', true);
151 Map.addLayer(s2_preprocces_view.first().select('VV'), {min:-25, max:0}, 'Setelah Banjir2', true);
152
```

Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 6 Code Editor Visualisasi Citra

Berikut merupakan *Code Editor* Yang digunakan untuk menampilkan atau memvisualisasikan Citra sentinel 1 dengan berbagai parameter yang telah ditentukan, dimana dalam hal ini *code* tersebut menampilkan citra yaitu,

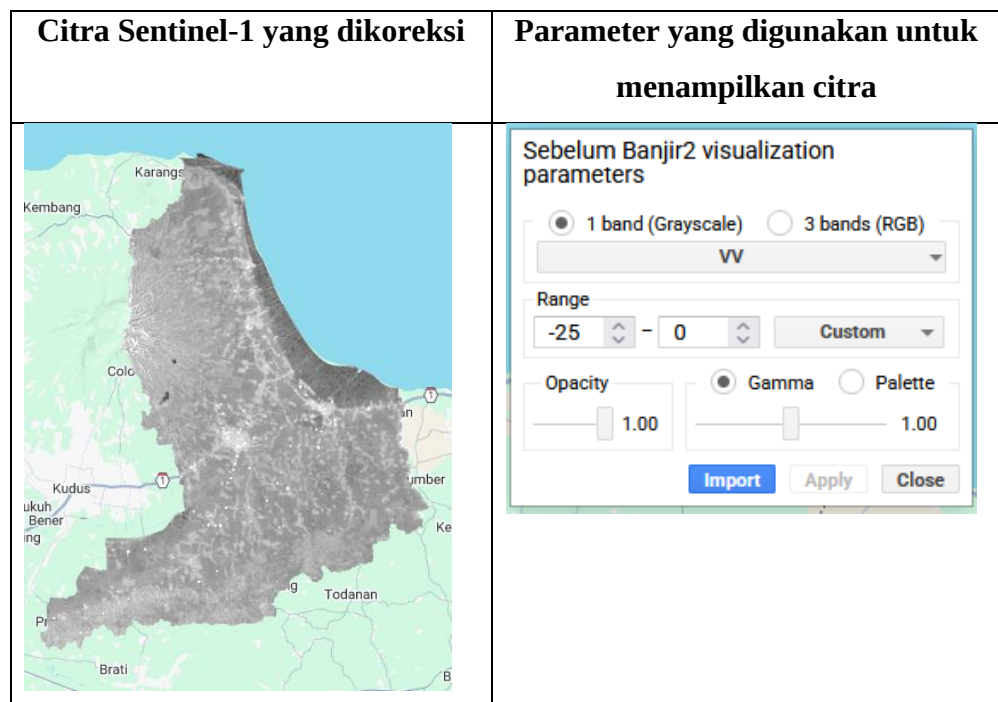
- Citra Sentinel-1 yang masih belum dikoreksi dengan parameter yang telah ditentukan dengan format VVVH yang membuat citra berwarna pada saat di visualiasikan.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 7 Visualisasi Citra yang belum dikoreksi

- Menampilkan Citra yang sudah dikoreksi dengan menggunakan band VV yang membuat warna dari citra hitam putih



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 8 Visualisai Citra yang sudah dikoreksi

5. *Change Detection* (Deteksi Perubahan) Menggunakan Rasio Image

Change Detection merupakan tahapan yang digunakan untuk mengidentifikasi banjir dengan membandingkan citra sebelum banjir dengan citra saat banjir, dimana *Change Detection* merupakan tahapan yang penting untuk bisa mendeteksi banjir dengan lebih akurat dengan membandingkan perbedaan dari citra.

```
// Rasio Image
var sebelum = s1_preproces_view.first().select('WV')
var sesudah = s2_preproces_view.first().select('WV')
var RI = sesudah.subtract(sebelum);
print (RI)
Map.addLayer(RI, {min:-25, max:0}, 'Ratio Image', true); // warna gelap mengindikasikan perubahan yang tinggi

var ZonalStatistik = RI.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  .combine('max', null, true) //true di sini memastikan agar semua perhitungan dipisahkan berdasarkan namanya
  .combine('min', null, true) //null untuk memastikan agar inputnya sama-sama NDVI
  .combine('stdDev', null, true),
  geometry: table,
  scale: 30,
  bestEffort: true});
```

Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 9 Code Editor untuk *Change Detection*

Dalam *Code Editor* diatas merupakan perintah untuk membandingkan citra sebelum banjir dan saat banjir dengan menggunakan Rasio Image, dimana dari hasil tersebut, bentuk visualisasinya adalah :



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 10 Visualisasi Hasil CDAT

Hasil dari deteksi perubahan pada citra ditampilkan pada bagian gelap, dimana semakin gelap bagian itu maka semakin besar juga perubahannya, dimana

hal ini dilakukan untuk menentukan nilai (Ambang Batas), dan dengan menggunakan Ratio Image ini akan mendapatkan wilayah tergenang dan kering.

6. *Threshold* (Ambang Batas)

Dalam penentuan nilai *Threshold* (Ambang Batas) dari suatu piksel diperlukan nilai ideal untuk bisa meng-ekstrak piksel yang terindikasi tergenang banjir, dimana dalam penelitian ini digunakan 2 rumus untuk menentukan nilai *Threshold* untuk 2 waktu yang berbeda, yaitu :

- Pada pengolahan tahun 2023 menggunakan rumus :

$$PD = (\mu[D] - kf \times \sigma[D])$$

Keterangan:

PD = Nilai *Threshold* yang ditentukan

$\mu[D]$ = Nilai rata-rata (mean)/VV Mean

$\sigma[D]$ = Standar Deviasi

kf = Faktor pengali (Konstanta)

Yang dimana kf yang digunakan menggunakan nilai 1.5 yang lebih optimal dan ideal saat dilakukan pengolahan data, dimana dalam zonal statistik nilai yang dihasilkan dari Ratio image adalah :

```
▼ Object (4 properties)
  VV_max: 31.803329770082012
  VV_mean: 0.40655161198804535
  VV_min: -25.403875341074702
  VV_stdDev: 1.944215311937787
```

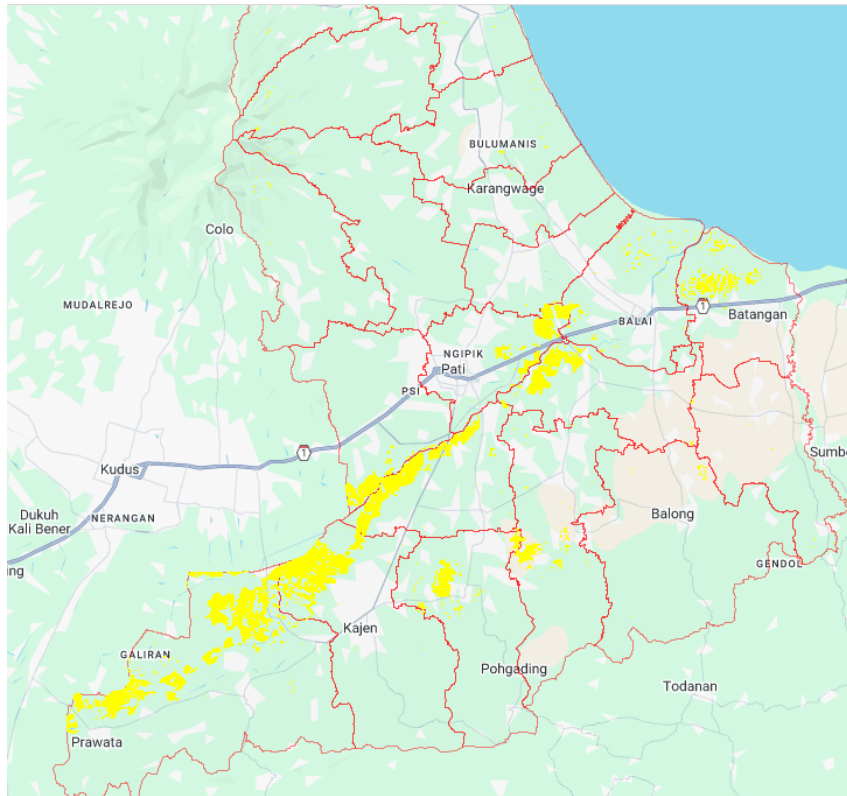
Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 11 Nilai Hasil CDAT 2023

Dimana jika diterapkan dengan rumus tersebut maka :

$$\text{Threshold} = 0.40655 - (1.5 \times 1.9442) = -2.50975$$

Dimana Hasil dari nilai *threshold* yang ditentukan dengan rumus ini, bisa menghasilkan pemodelan banjir dengan lebih baik.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 12 Visualisasi Hasil Penerapan Threshold

Dimana Wilayah yang memiliki warna kuning merupakan wilayah yang terdeteksi banjir pada tahun 2023.

- Pengolahan tahun 2024 Menggunakan rumus :

$$\text{Threshold} = (\text{Max} + \text{Min}) / 2$$

Dimana dalam hal ini didasari pada rumus awal yang digunakan dalam pengolahan, sedangkan jika rumus ini diterapkan pada tahun 2023 tidak bisa optimal karena nilai RI yang terlalu besar dan membuat hasil pengolahan seluruh wilayah tertutupi oleh banjir. Dan pemilihan rumus ini juga lebih adaptif jika digunakan pada kondisi yang tepat. Dan pada penggunaan rumus ini didapat nilai :

```
Object (4 properties)  JSON
  VV_max: 30.44469613691039
  VV_mean: 1.5126956174801944
  VV_min: -35.65692003548938
  VV_stdDev: 3.187257937591601
```

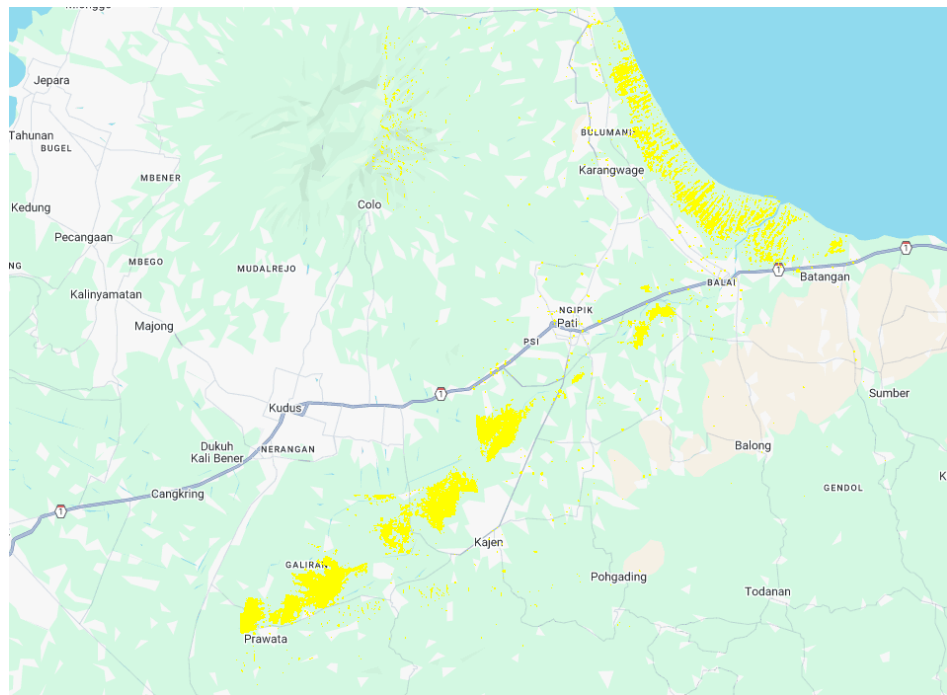
Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 13 Nilai Hasil CDAT 2024

Dimana hasilnya jika menggunakan rumus ini adalah :

$$\text{Threshold} = (30.444 - 35.6569) / 2 = -2.606$$

Dimana hasil dari nilai *threshold* ini adalah :



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 14 Visualisasi Hasil *Threshold* 2024

Penentuan nilai *threshold* yang berbeda ini dipengaruhi ketersediaan data citra, dimana setiap data citra yang ada dipengaruhi langsung oleh distribusi nilai, tidak bisa selalu sama karena perbedaan kondisi atmosfer, kemiringan satelit saat mengambil data, kondisi fisik permukaan dan kelembaban tanah serta kekasaran permukaan. Sehingga diperlukan penyesuaian nilai berdasarkan distribusi nilai dan grafik piksel yang ada.

7. Koreksi Badan Air

Koreksi badan air merupakan proses untuk bisa mengidentifikasi badan air eksisting yang ikut terdeteksi sebagai genangan banjir, dimana dalam pengolahan ini Koreksi badan air dilakukan 2 kali proses untuk bisa mendapatkan hasil yang optimal dan sesuai dengan banjir yang ada. Yaitu koreksi di GEE dengan data badan air yang ada dan koreksi lanjutan di Arcmap untuk memisahkan dengan badan air sungai dan waduk yang lebih detail.

Pada tahap pertama koreksi badan air dilakukan dengan bantuan *GlobalSurfaceWater* yang menyediakan data badan air yang didapat dari pengamatan Citra Landsat, dimana dalam hal ini *GlobalSurfaceWater* memiliki resolusi 30 m pada pikselnya. Hal ini dilakukan karena Kabupaten Pati memiliki

wilayah tambak yang dimana saat banjir juga terkadang tambak ini ikut terendam banjir. Dimana untuk melakukan itu maka memerlukan *Code Editor* :

```
// Koreksi Badan Air
var GSW = ee.Image("JRC/GSW1_4/GlobalSurfaceWater")
var badan_air = GSW.select("seasonality").gte(10)
                    .clip(table)
                    .selfMask();

Map.addLayer(badan_air, {min:0, max:1, palette: ["blue"]}, "Badan Air");

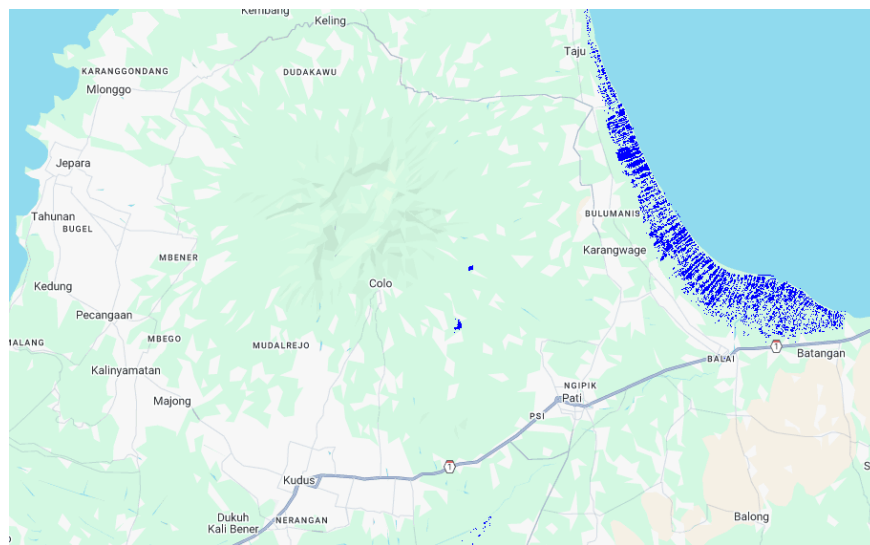
// Mask-out Area Badan Air
var mask_badan_air = badan_air.unmask(0).not(); // Masking area badan air
var banjir_non_badan_air = ind_banjir.updateMask(mask_badan_air); // Hanya area di luar badan air

Map.addLayer(banjir_non_badan_air, {min: 0, max: 1, palette: ["yellow"]}, "Banjir Non Badan Air");
```

Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 15 Code Editor Identifikasi Badan Air

Dimana di dalam *Code Editor* tersebut terdapat proses pemanggilan *GlobalSurfaceWater* yang memiliki data badan air, dan digunakan 10 bulan untuk mewakili badan air permanen (Badan air tersebut berada tetap pada kurun waktu 10 bulan lamanya dan berarti tidak teridentifikasi sebagai banjir).

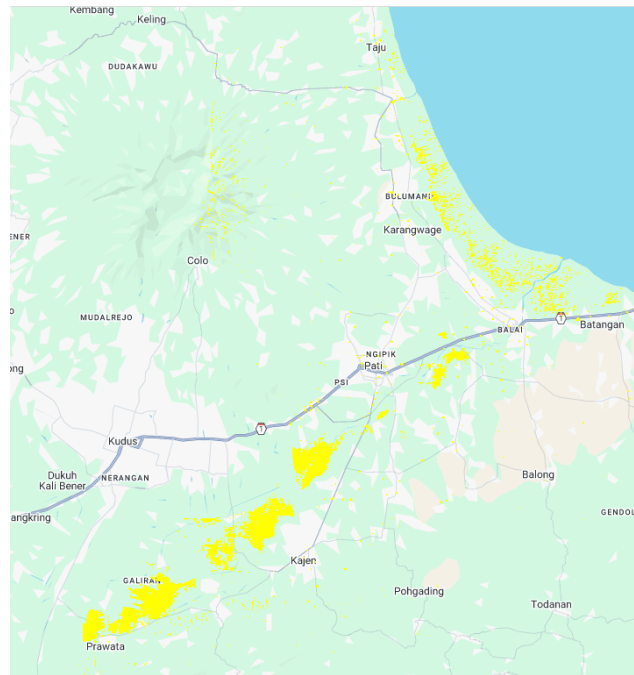


Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 16 Visualisasi Hasil Identifikasi Badan Air Permanen

Dan dimana dalam gambar hasil pengolahan tersebut ditemukan bahwa banyak area tambak yang terdeteksi sebagai badan air permanen dan 2 waduk pada kaki gunung.

Kemudian *Mask Out Area* badan air merupakan perintah untuk memisahkan area banjir dengan badan air permanen yang ditampilkan dengan warna kuning.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 17 Banjir yang sudah di pisahkan dengan Badan Air

8. Koreksi Kelerengan

Setelah dilakukan koreksi Kelerengan untuk menemukan wilayah yang sebenarnya curam lebih dari 5% tetapi terdeteksi sebagai banjir, dimana hal ini terjadi pada wilayah penelitian yang berada pada lereng gunung muria yang terdeteksi sebagai banjir.

```
// Koreksi Kelerengan
var DEM = ee.Image("WWF/HydroSHEDS/03VFDEM")
var threshold_kelerengan = 5;
var kelerengan = ee.Terrain.slope(DEM.clip(table));
```

Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 18 Code Editor Koreksi Kelerengan

Dalam *code editor* tersebut menggunakan DEM yang tersedia langsung di Google Earth Engine dan menggunakan kelerengan 5% sebagai koreksinya, yang berarti jika area tersebut memiliki kemiringan $>5\%$ dan terdeteksi banjir akan dilakukan koreksi dengan perintah :

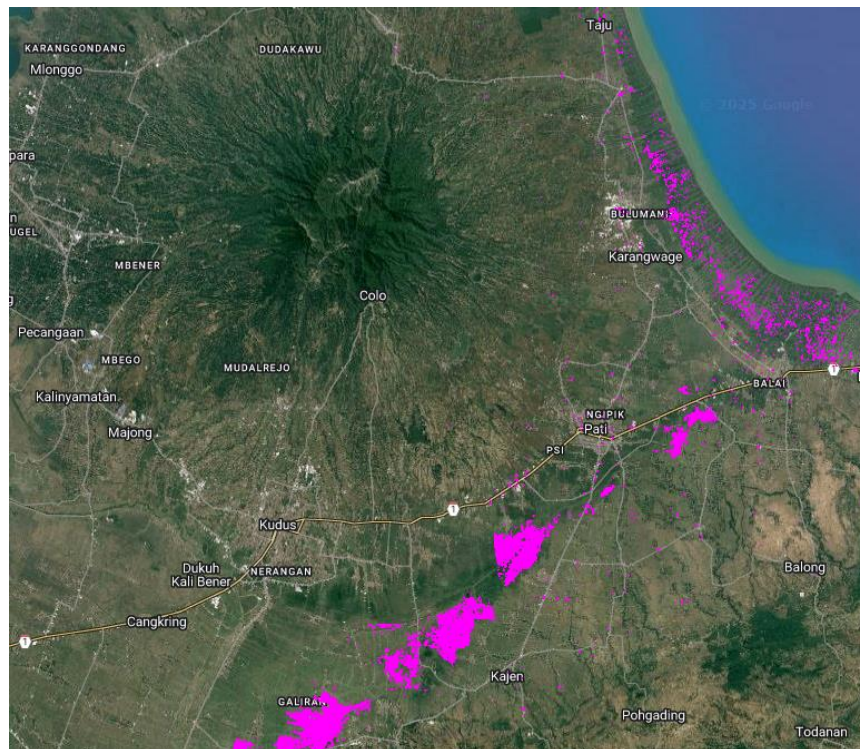
```
// Mask-out Area Curam
var slopeThreshold = 5;
var daerah_curam = kelerengan.gt(slopeThreshold);
var masking_kelerengan = daerah_curam.not();

var banjir_tanpa_curam = banjir_non_badan_air.updateMask(masking_kelerengan);
Map.addLayer(banjir_tanpa_curam, {min: 0, max: 1, palette: ["magenta"]}, "Banjir Non Jurang");
```

Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 19 Code Editor untuk memisahkan banjir dengan area curam

Dimana dalam code editor tersebut, menjelaskan perintah bahwa wilayah yang terdeteksi memiliki kelerengan >5% maka akan dipisahkan dengan hasil deteksi banjir sebelumnya.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 20 Hasil Pemisahan Banjir dengan koreksi kelerengan

Dimana dengan hasil perintah tersebut didapatkan hasil area yang sebelumnya terdeteksi banjir pada area lereng gunung muria telah hilang dan meninggalkan sedikit piksel.

9. Koreksi Piksel

Koreksi piksel merupakan tahap yang dilakukan untuk bisa menghilangkan noise piksel yang ada, dimana saat banjir harusnya memiliki wilayah yang cukup luas dan tidak kecil-kecil dan tersebar. Maka hal ini akan mengganggu hasil pemodelan banjir dan membuatnya kurang detail, sehingga perlu dilakukan koreksi dengan :

```
// Koreksi Piksel
var minimal_piksel_terkoneksi = 10;
var piksel_terkoneksi = banjir_tanpa_curam.connectedPixelCount(15);
var area_tidak_terkoneksi = piksel_terkoneksi.lt(minimal_piksel_terkoneksi);
var masking_piksel = area_tidak_terkoneksi.not();

var banjir = banjir_tanpa_curam.updateMask(masking_piksel);
Map.addLayer(banjir, {min:0, max:1, palette: ["red"]}, "Wilayah Banjir");
```

Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 21 Code Editor Koreksi Piksel

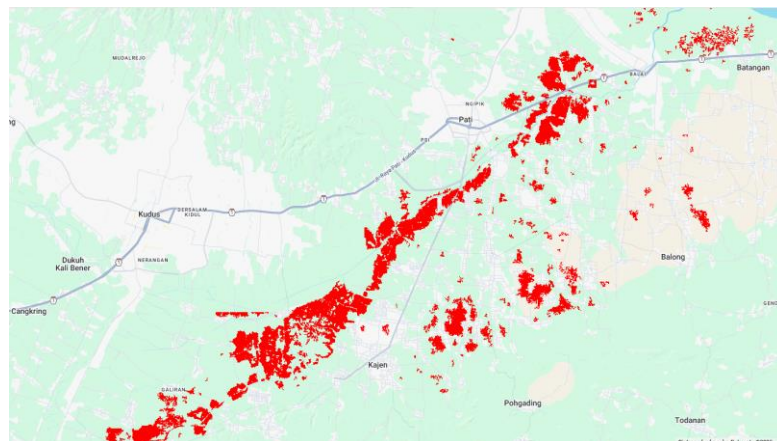
Code Editor tersebut merupakan perintah untuk mengkoreksi piksel yang tersebar yang berjumlah dibawah 10 piksel. Dan menampilkannya dengan nama layer “Wilayah Banjir”. Berikut Merupakan Hasil pemodelan banjir yang menerapkan rumus koreksi tersebut dan hasil pemodelan dari genangan Banjir di Kabupaten Pati: Banjir tahun 2024:



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 22 Hasil Banjir Final 2024

Banjir Tahun 2023:



Sumber: Penulis, 2025

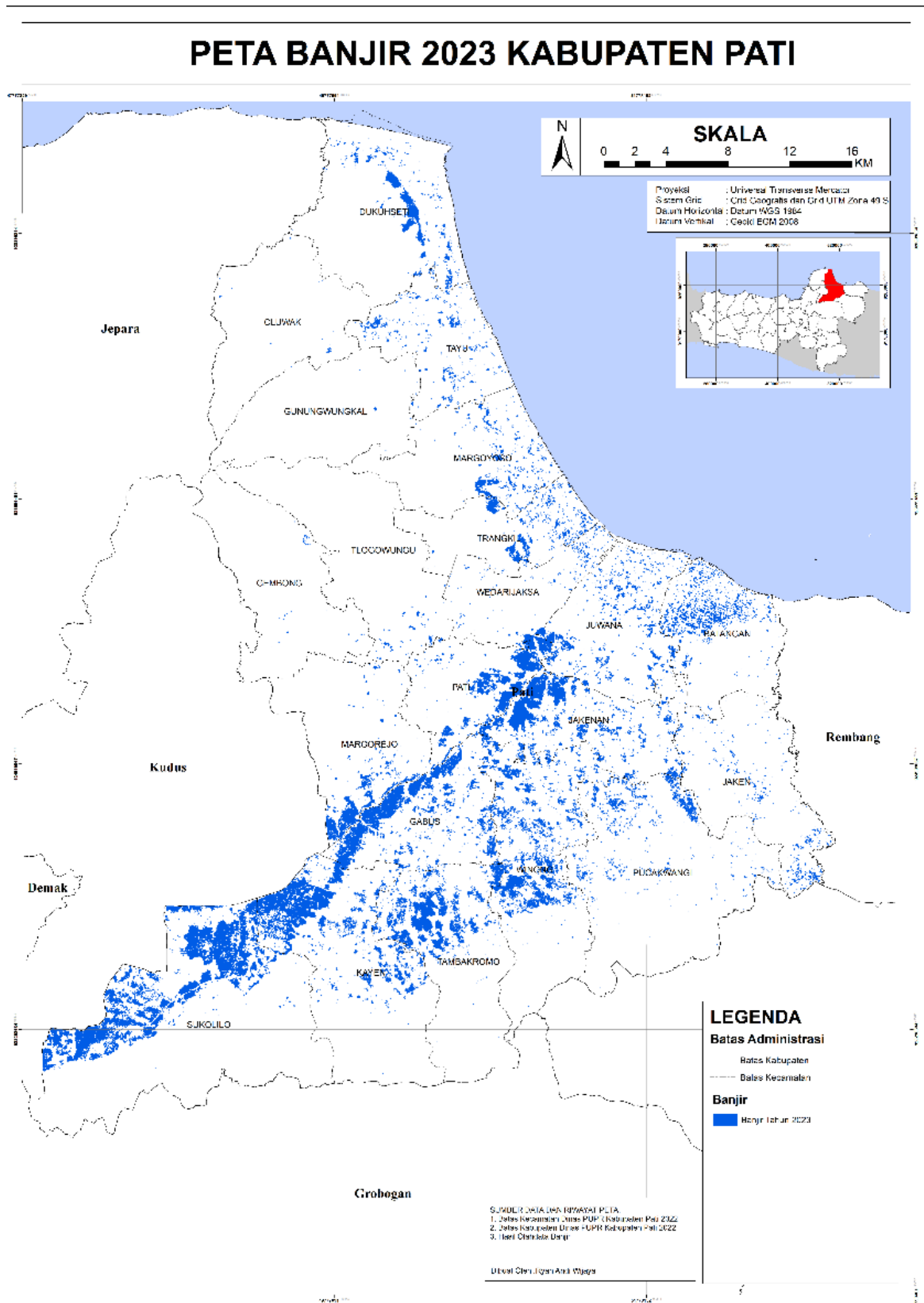
Gambar 4. 23 Hasil Final Banjir 2023

4.2 Analisis Pemetaan Banjir Tahun 2023 dan Tahun 2024

Dalam analisis pemetaan banjir pada tahun 2023 dan 2024 ini merupakan tahapan yang menjelaskan dan menggambarkan bencana banjir yang terjadi pada tahun tersebut dan keseluruhan setelah melalui proses overlay.

4.2.1 Banjir Tahun 2023

Pada tahun 2023 Kabupaten Pati mengalami banjir pada tanggal 25 Februari 2023,



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 24 Peta Sebaran Banjir 2023

Berdasarkan hasil olahan peta dari data banjir tahun 2023, diketahui bahwa sebaran genangan banjir di Kabupaten Pati cukup meluas dan mencakup hampir seluruh wilayah, yaitu sebanyak 21 kecamatan. Peta hasil analisis dari citra penginderaan jauh ini memberikan gambaran yang cukup jelas mengenai wilayah-wilayah terdampak, terutama di bagian tengah hingga selatan Kabupaten Pati yang mengikuti alur sungai-sungai besar yang melintas di kawasan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan aliran sungai menjadi faktor utama dalam pola penyebaran banjir di wilayah ini.

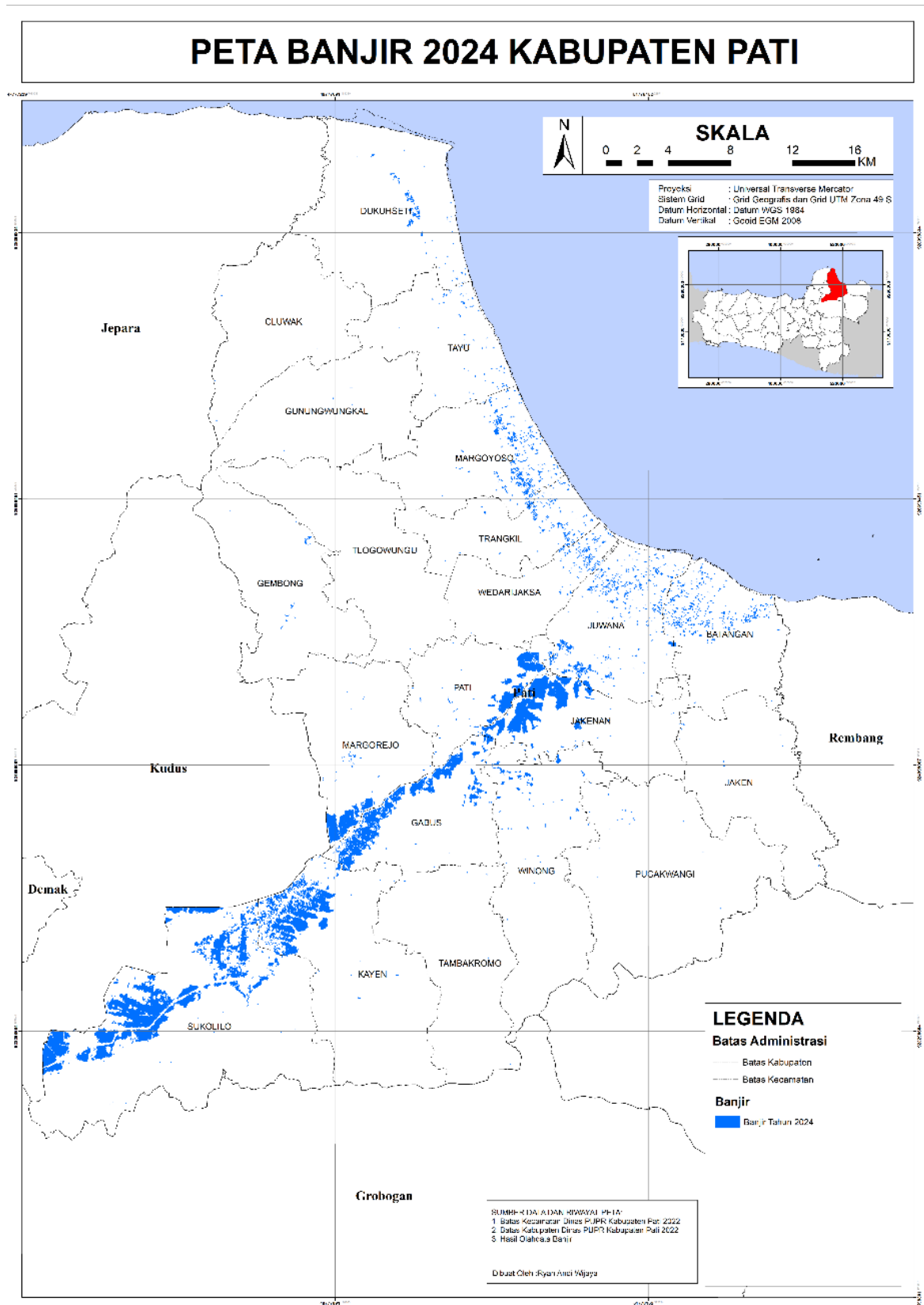
Wilayah yang mengalami tingkat genangan tinggi umumnya berada di sekitar aliran Sungai Silugonggo dan Sungai Juwana, yang merupakan dua sungai utama di Kabupaten Pati. Selain itu, daerah dataran rendah yang secara geografis memang rawan banjir juga menjadi lokasi genangan cukup luas. Kecamatan-kecamatan yang menunjukkan dampak genangan banjir paling besar antara lain Sukolilo, Kayen, Tambakromo, Winong, Gabus, Jakenan, dan Juwana. Pada wilayah tersebut, hasil olahan citra memperlihatkan warna biru pekat yang menandakan intensitas genangan cukup signifikan. Tidak hanya itu, banjir juga menjangkau kawasan pesisir dan wilayah perkotaan, seperti Kecamatan Pati dan Batangan, yang berada di bagian hilir.

Sebaran banjir yang cukup meluas ini mencerminkan bahwa intensitas hujan yang turun sangat tinggi dan berlangsung cukup lama, serta tidak tertampung oleh kapasitas aliran sungai yang ada. Hal ini diperparah oleh kondisi drainase di beberapa wilayah yang belum optimal, terutama di kawasan dengan tingkat kepadatan tinggi dan wilayah lahan produktif seperti persawahan. Banyak saluran air yang tidak berfungsi secara maksimal karena tersumbat atau memang belum tersedia secara menyeluruh.

Dari kondisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa penyebab banjir tidak hanya dipengaruhi oleh curah hujan ekstrem, tetapi juga disebabkan oleh permasalahan pada tata kelola ruang dan infrastruktur pengendalian banjir yang belum memadai. Jika tidak dilakukan penanganan secara menyeluruh dan adaptif, maka kejadian banjir serupa sangat berpotensi untuk terus terjadi di masa mendatang dengan dampak yang semakin besar, baik terhadap kehidupan sosial, ekonomi, maupun lingkungan. Maka dari itu, dibutuhkan strategi perencanaan dan penataan ruang yang lebih memperhatikan aspek risiko bencana, aliran air, kondisi geografis, serta kapasitas daya tampung wilayah.

4.2.2 Banjir Tahun 2024

Pada tahun 2024 Pati mengalami kejadian banjir pada Tanggal 15 Maret 2024



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 25 Peta Banjir 2024 Kabupaten Pati

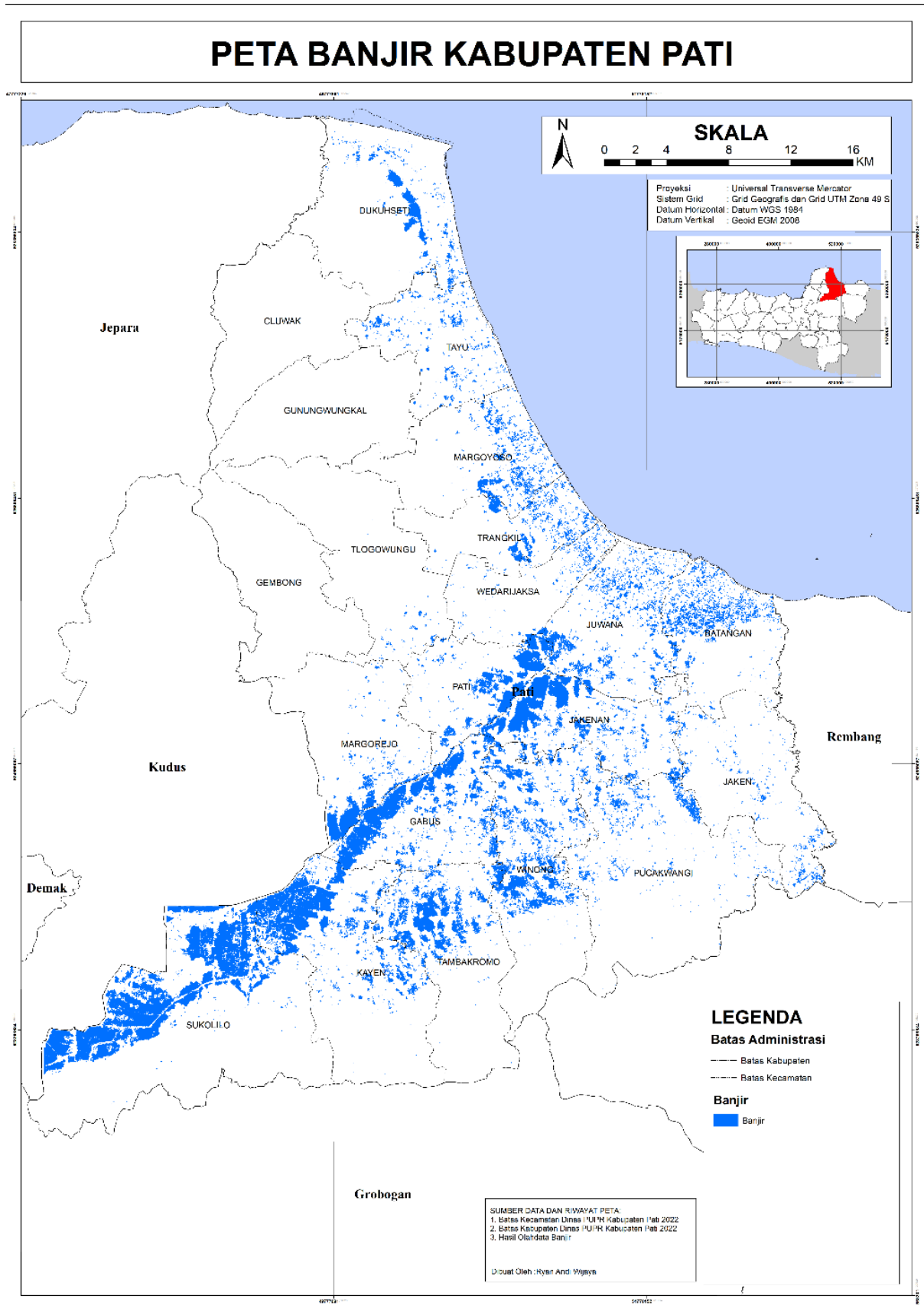
Berdasarkan hasil olahan peta sebaran banjir tahun 2024 di Kabupaten Pati, diketahui bahwa genangan banjir tersebar luas dengan arah penyebaran dari barat daya menuju timur laut. Sebaran genangan ini mengikuti alur aliran sungai utama, seperti Sungai Silugonggo yang menjadi salah satu sungai besar di Kabupaten Pati. Wilayah-wilayah yang berada di sekitar aliran sungai ini menjadi kawasan yang paling terdampak genangan, seperti Kecamatan Sukolilo, Kayen, Tambakromo, dan Winong yang berada di bagian barat daya.

Selain itu, genangan banjir juga ditemukan di wilayah tengah seperti Kecamatan Gabus, Jakenan, dan Pati yang merupakan kawasan padat aktivitas dan menjadi salah satu pusat kegiatan masyarakat. Tidak hanya berhenti di wilayah tengah, genangan banjir juga menjalar hingga ke daerah pesisir bagian utara dan timur laut Kabupaten Pati, seperti Kecamatan Juwana, Batangan, dan Dukuhseti. Hal ini menunjukkan bahwa aliran air mengalir mengikuti kontur dan morfologi wilayah dari hulu hingga hilir.

Sebaran genangan banjir pada tahun 2024 ini memperlihatkan adanya keterkaitan antara morfologi wilayah dan pola aliran air yang ada. Daerah yang berada pada ketinggian rendah dan berdekatan dengan aliran sungai memiliki risiko lebih tinggi mengalami banjir, terutama saat intensitas hujan tinggi. Hal ini diperkuat dengan kondisi topografi Kabupaten Pati yang sebagian besar datar, sehingga air cenderung mengalir lambat dan mengendap di wilayah-wilayah rendah.

Dengan kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa sebagian besar wilayah Kabupaten Pati, terutama daerah dataran rendah dan aliran sungai utama, merupakan wilayah yang sangat rentan terhadap kejadian banjir tahunan. Hasil dari peta sebaran banjir ini bisa digunakan sebagai bahan evaluasi dalam perencanaan tata ruang ke depan, agar pemanfaatan ruang di Kabupaten Pati bisa mempertimbangkan aspek risiko bencana, terutama banjir yang sifatnya terjadi secara berulang setiap tahunnya.

4.2.3 Banjir Keseluruhan



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 26 Peta banjir keseluruhan tahun 2023 & 2024

Tabel 4. 1 Tabel Luas Banjir Keseluruhan

Kecamatan	Luas Banjir (ha)
Sukolilo	3483.640571
Kayen	1783.914458
Tambakromo	1077.171334
Winong	1254.824094
Pucakwangi	457.0481653
Gabus	1535.911333
Jaken	226.0762194
Margorejo	531.6157169
Jakenan	1257.794043
Pati	794.0432166
Juwana	756.8265075
Batangan	684.6049331
Tlogowungu	44.14486598
Wedarijaksa	195.7758732
Trangkil	395.9085107
Margoyoso	485.6099373
Tayu	301.6433505
Dukuhseti	442.7531521

Sumber: Penulis, 2025

Setelah dilakukan pemodelan genangan banjir untuk tahun 2023 dan 2024 serta dilanjutkan dengan analisis overlay terhadap seluruh wilayah administrasi Kabupaten Pati, diperoleh hasil bahwa dari total 21 kecamatan yang ada, sebanyak 18 kecamatan teridentifikasi terdampak banjir. Dimana dalam hal ini, luas genangan banjir yang terjadi pada masing-masing kecamatan berbeda-beda, tergantung pada kondisi topografi, penggunaan lahan, serta sistem drainase yang dimiliki oleh wilayah tersebut. Dari hasil pengolahan data, total akumulasi luas wilayah yang mengalami genangan banjir di 18 kecamatan tersebut mencapai 15.758,82 ha. Adapun Kecamatan Sukolilo tercatat sebagai wilayah dengan luasan banjir paling tinggi yaitu sebesar 3.483,64 ha, disusul oleh Kecamatan Kayen dengan luas 1.783,91 ha, dan Kecamatan Gabus dengan 1.535,91 ha. Sebaliknya, terdapat pula kecamatan-kecamatan yang tidak mengalami genangan banjir sama sekali, seperti Kecamatan Gunungwungkal, Cluwak, dan Gembong. Temuan ini menunjukkan bahwa tingkat kerentanan banjir di Kabupaten Pati tergolong cukup tinggi, khususnya pada wilayah yang berada di dataran rendah atau berdekatan langsung dengan aliran sungai utama. Dimana informasi ini sangat penting untuk menjadi dasar dalam upaya penanggulangan bencana dan penyusunan strategi mitigasi banjir yang lebih terarah dan berbasis spasial.

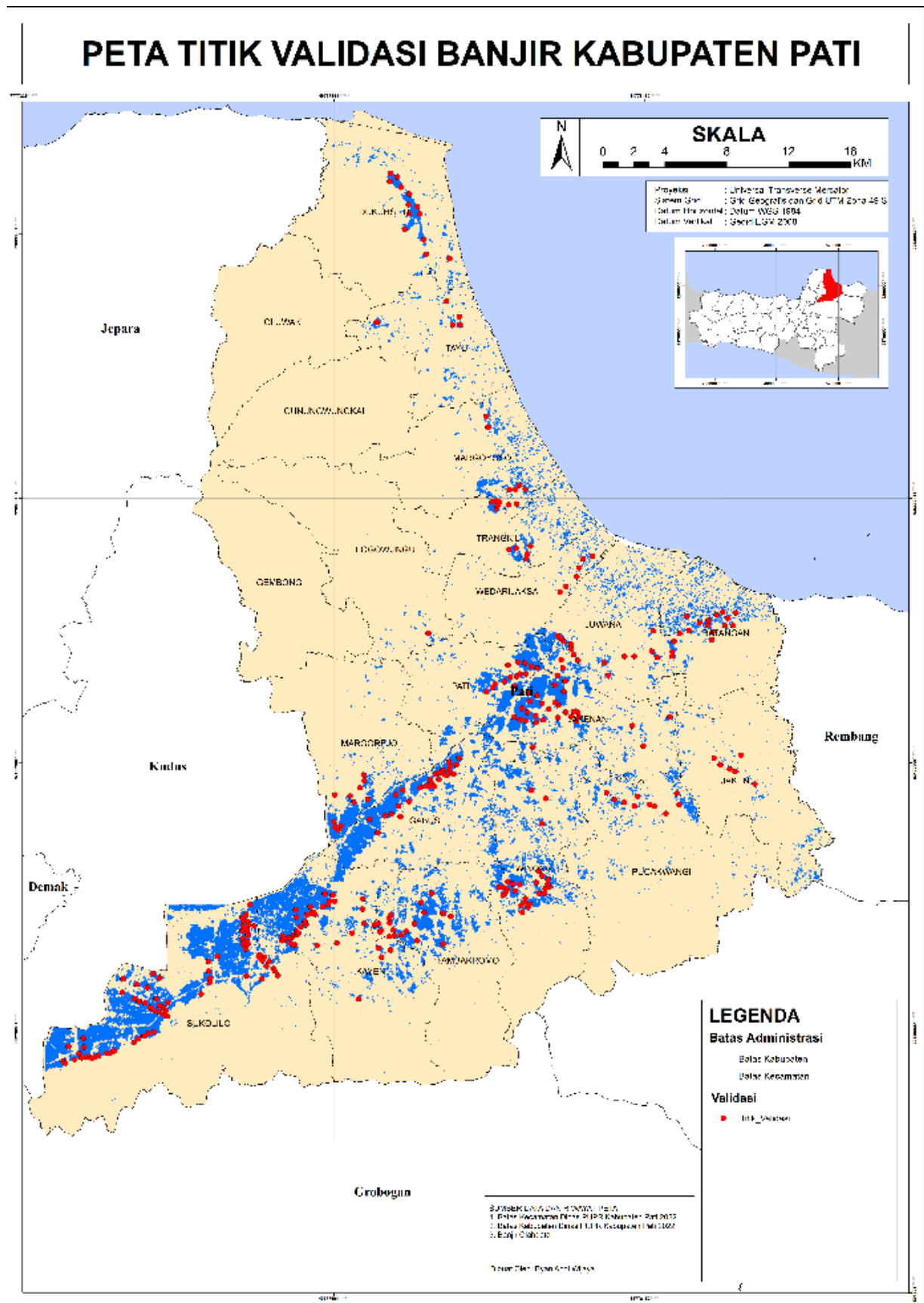
4.3 Validasi Hasil Pengolahan Data

Validasi hasil pengolahan data genangan banjir merupakan langkah penting yang harus dilakukan guna memastikan tingkat keakuratan dari hasil olahan data yang telah dikerjakan. Dalam penelitian Tugas Akhir ini, proses validasi atau survei dilakukan untuk memastikan bahwa lokasi-lokasi yang telah teridentifikasi sebagai wilayah genangan banjir melalui hasil pemodelan citra benar-benar sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

Validasi dilakukan dengan cara melakukan survei lapangan secara langsung ke titik-titik lokasi yang terindikasi mengalami banjir. Survei ini bertujuan untuk mendapatkan informasi aktual di lapangan, baik dari sisa-sisa banjir yang masih terlihat, bekas genangan air, maupun keterangan dari warga sekitar. Pada saat survei, penulis juga melakukan wawancara langsung kepada masyarakat yang berada di sekitar lokasi guna memastikan bahwa lokasi tersebut memang terdampak banjir pada waktu kejadian.

Dalam proses pelaksanaan survei, penulis terlebih dahulu membuat peta genangan banjir berdasarkan hasil olahan citra, dan dari peta tersebut ditentukan titik-titik validasi yang akan dikunjungi. Titik-titik ini dipilih secara purposive berdasarkan tingkat luasan genangan, aksesibilitas lokasi, serta penyebaran spasial wilayah terdampak. Peta tersebut digunakan sebagai acuan dalam menentukan rute dan lokasi survei agar proses validasi dapat berjalan lebih efektif dan tepat sasaran.

Dalam proses melakukan survey, penulis membuat Peta genangan banjir dan titik-titik yang akan divalidasi ke lapangan secara langsung, Dan berikut merupakan peta untuk validasi tersebut :



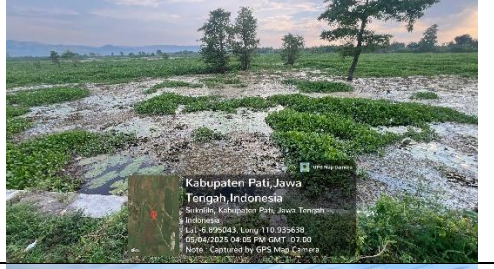
Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 27 Peta Lokasi Validasi

Dimana dalam peta validasi ada total 392 titik yang harus dilakukan validasi lapangan yang ditandai dengan warna titik merah, dan warna biru merupakan lokasi yang teridentifikasi terdampak banjir. Dimana dalam proses penentuan jumlah titik per kecamatan dilakukan dengan metode purpose sampling yang dimana semakin besar lokasi teridentifikasi banjirnya, maka jumlah lokasi yang harus dilakukan survey juga semakin banyak.

Dalam proses penentuan jumlah sampel dilakukan dengan rumus Slovin dengan error 5% dimana didapat hasil 392 titik dari total luas banjir yang ada di Kabupaten Pati. Dimana dalam hal ini ditentukan untuk mengambil 360 titik sampel banjir dan 32 titik sampel tidak banjir yang nantinya akan dilakukan uji nilai Kappa. Dan berikut merupakan hasil dari Sebagian Survei :

Tabel 4. 2 Rekap Survei Lapangan

Titik	Koordinat X	Koordinat Y	Hasil Olah Data	Hasil Survey	Dokumentasi
1	110.823069	-6.958435	Banjir	Banjir	
2	110.935638	-6.899043	Banjir	Banjir	
3	110.928443	-6.874920	Banjir	Banjir	
4	111.017647	-6.447679	Banjir	Banjir	

5	110.829758	-6.958378	Banjir	Banjir	
---	------------	-----------	--------	--------	---

Sumber: Penulis, 2025

Pada hasil observasi lapangan diatas merupakan 5 sampel dari total 392 Sampel yang telah dilakukan survey. Dimana rata-rata banjir menggenang area persawasan, lahan pertanian dan permukiman. Dimana data dari hasil survey ini akan dilakukan uji kappa untuk mendapatkan nilai akurasi data hasil pengolahan dengan kondisi aslinya.

4.4 Analisis Validitas dan Akurasi Data Hasil Pengolahan

Dalam tahapan ini penggunaan Koefisien Kappa dalam proses uji validitas ini adalah untuk melihat berapa nilai kesepakatan diantara data banjir yang didapatkan dari hasil pengolahan data Sentinel-1A dengan Data hasil dari survey lapangan. Dimana nilai dari hasil uji kappa ini mendekati nilai 1 maka tingkat validitas dari hasil pengolahan akan semakin tinggi yang berarti akurat, dimana data hasil pengolahan selaras dengan data hasil survey lapangan. Dalam uji kappa ini dilakukan dengan SPSS.

Tabel 4. 3 Nilai Hasil Uji Kappa

Symmetric Measures					
		Value	Asymptotic Standard Error ^a	Approximate T ^b	Approximate Significance
Measure of Agreement	Kappa	.889	.041	17.617	.000
N of Valid Cases		392			

Sumber: Penulis, 2025

Hasil analisis dengan software SPSS menunjukkan bahwa Koefisien Kappa mencapai 0,889 dengan standar error sebesar 0,041. Nilai Kappa yang hampir mendekati 1 ini mengindikasikan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi antara data banjir yang dihasilkan dari pengolahan citra Sentinel-1A dengan data survei lapangan. Hal ini berarti klasifikasi wilayah banjir berdasarkan citra satelit tersebut sangat sesuai dengan kondisi sebenarnya yang ditemukan di lapangan. Tingginya tingkat kesepakatan ini menandakan bahwa metode pengolahan citra yang digunakan cukup akurat dan dapat dipercaya.

Nilai standar error yang kecil, yakni 0,041, memperkuat keandalan estimasi nilai Kappa yang diperoleh. Secara statistik, standar error yang rendah menunjukkan kestabilan

nilai Kappa dan minimnya pengaruh variabilitas data. Selain itu, nilai signifikansi yang jauh di bawah 0,05 ($p = 0,000$) membuktikan bahwa kesesuaian tersebut sangat signifikan secara statistic.

Secara praktis, hasil ini menegaskan bahwa pengolahan citra Sentinel-1A efektif digunakan untuk pemantauan dan pemetaan banjir. Penggunaan teknologi penginderaan jauh ini sangat bermanfaat dalam mitigasi bencana dan perencanaan tata ruang wilayah rawan banjir. Metode ini mampu memberikan informasi spasial yang valid secara cepat dan efisien dibandingkan survei lapangan yang membutuhkan waktu dan sumber daya lebih banyak.

4.5 Analisis Penggunaan Data Pemodelan Banjir untuk Aspek Tata Ruang

Fungsi dari kegunaan data spasial sendiri adalah untuk memvisualisasikan kondisi suatu wilayah agar mudah untuk dipahami dan dianalisis secara mendalam. Dimana dalam kegunaan data spasial pemodelan genangan banjir pada Kabupaten Pati ini dapat digunakan sebagai data utama dalam penentuan dan pengumpulan untuk data perencanaan, dimana data spasial genangan banjir ini berguna untuk mengetahui gambaran dari sebaran, lokasi dan daerah yang terdampak dari bencana banjir yang ada di Kabupaten Pati. Dimana data yang diperoleh melalui pengolahan data dari citra Sentinel-1A ini yang telah dilakukan validasi kemudian dilakukan overlay dengan data Penggunaan Lahan dan Rencana Tata Ruang Kabupaten Pati. Overlay ini dilakukan guna mengetahui penggunaan lahan dan rencana pemanfaatan lahan yang ada dalam Rencana Pola Ruang Kabupaten Pati apakah masih terdampak bencana banjir atau tidak, yang dimana seharusnya penentuan fungsi kawasan yang ada telah bebas dari bencana banjir.

4.5.1 Banjir Dengan Penggunaan Lahan

Analisis Banjir yang di Overlay dengan Penggunaan Lahan eksisting dilakukan guna mengetahui jenis penggunaan lahan yang secara aktual terdampak genangan banjir. Hasil overlay merupakan gambaran penggunaan lahan eksisting yang terdampak banjir dan mengetahui luasan banjir pada setiap jenis penggunaan lahan yang ada.

Gambar 4. 28 Peta Overlay Banjir dengan Penggunaan Lahan

Berikut merupakan peta hasil Overlay antara Penggunaan Lahan di Kabupaten Pati dengan hasil Olah data genangan banjir dengan menggunakan Sentinel-1A dimana dapat dilihat bahwa Genangan banjir menjangkau berbagai jenis penggunaan lahan di Kabupaten Pati. Area yang paling terdampak mencakup lahan pertanian tanaman pangan, kawasan permukiman baik di pedesaan maupun perkotaan, wilayah industri, serta zona budidaya perikanan. Sebaran ini memperlihatkan bahwa dampak banjir tidak hanya terbatas pada pemukiman, namun juga berpotensi mengganggu sektor-sektor ekonomi penting seperti pertanian dan perikanan. Umumnya, wilayah yang mengalami genangan berada di dataran rendah dan dekat dengan aliran sungai, yang secara alami lebih rentan terhadap banjir. Oleh sebab itu, keberadaan peta ini menjadi sumber informasi strategis dalam penyusunan rencana tata ruang, upaya mitigasi bencana banjir, serta penentuan lokasi-lokasi yang perlu diprioritaskan untuk penanganan lebih lanjut.

Tabel 4. 4 Luas Penggunaan Lahan yang terdampak Banjir

Tutupan Lahan	Luas
Bangunan industri	25,88
Bangunan Perdagangan dan Perkantoran	2,1
Bangunan permukiman desa	269,4
Bangunan permukiman kota	85,9
Embung	6,8
Empang/Kolam ikan air tawar	64,6
Kawasan Hutan Produksi Tetap	22,8
Kebun campuran	28,1
Ladang/tegakan hortikultura	69,1
Lapangan	12,5
Pekarangan	267,8
Pemukaman	6,8
Penggalian pasir, tanah dan batu (sirtu)	1,3
Perairan Laut Dangkal	0,09
Sawah	12.937
Stadion dan sarana olah raga	0,11
Taman dan Hutan Kota	0,53
Tambak Garam	438,5
Tambak ikan/udang	1.315,5
Tempat penimbunan dan pembuangan sampah	0,44

Sumber: Penulis, 2025

Berdasarkan hasil analisis overlay antara data genangan banjir dan tutupan lahan di Kabupaten Pati, diketahui bahwa banjir telah memengaruhi berbagai jenis penggunaan lahan dengan total luas terdampak sekitar 15.000 ha. Lahan yang paling luas terkena dampak adalah sawah, mencapai sekitar 12.937 ha, disusul oleh tambak ikan/udang seluas 1.315 ha dan tambak garam sekitar 439 ha. Fakta ini mengindikasikan bahwa sektor-sektor produktif seperti pertanian dan perikanan merupakan yang paling rentan terhadap genangan banjir.

Selain itu, area permukiman, baik di desa maupun kota, juga terdampak dengan total luas lebih dari 355 ha, yang menunjukkan potensi terganggunya aktivitas dan kehidupan masyarakat. Banjir juga mempengaruhi berbagai fasilitas dan infrastruktur lain seperti bangunan industri, pekarangan, empang, serta lapangan. Persebaran dampak banjir umumnya terkonsentrasi di wilayah dataran rendah dan sekitar aliran sungai, yang secara topografis memang memiliki kerentanan tinggi terhadap genangan. Oleh karena itu, informasi ini sangat relevan untuk menjadi dasar dalam perencanaan tata ruang yang tanggap terhadap risiko banjir serta dalam menetapkan wilayah prioritas untuk upaya mitigasi dan penanganan bencana secara berkelanjutan.

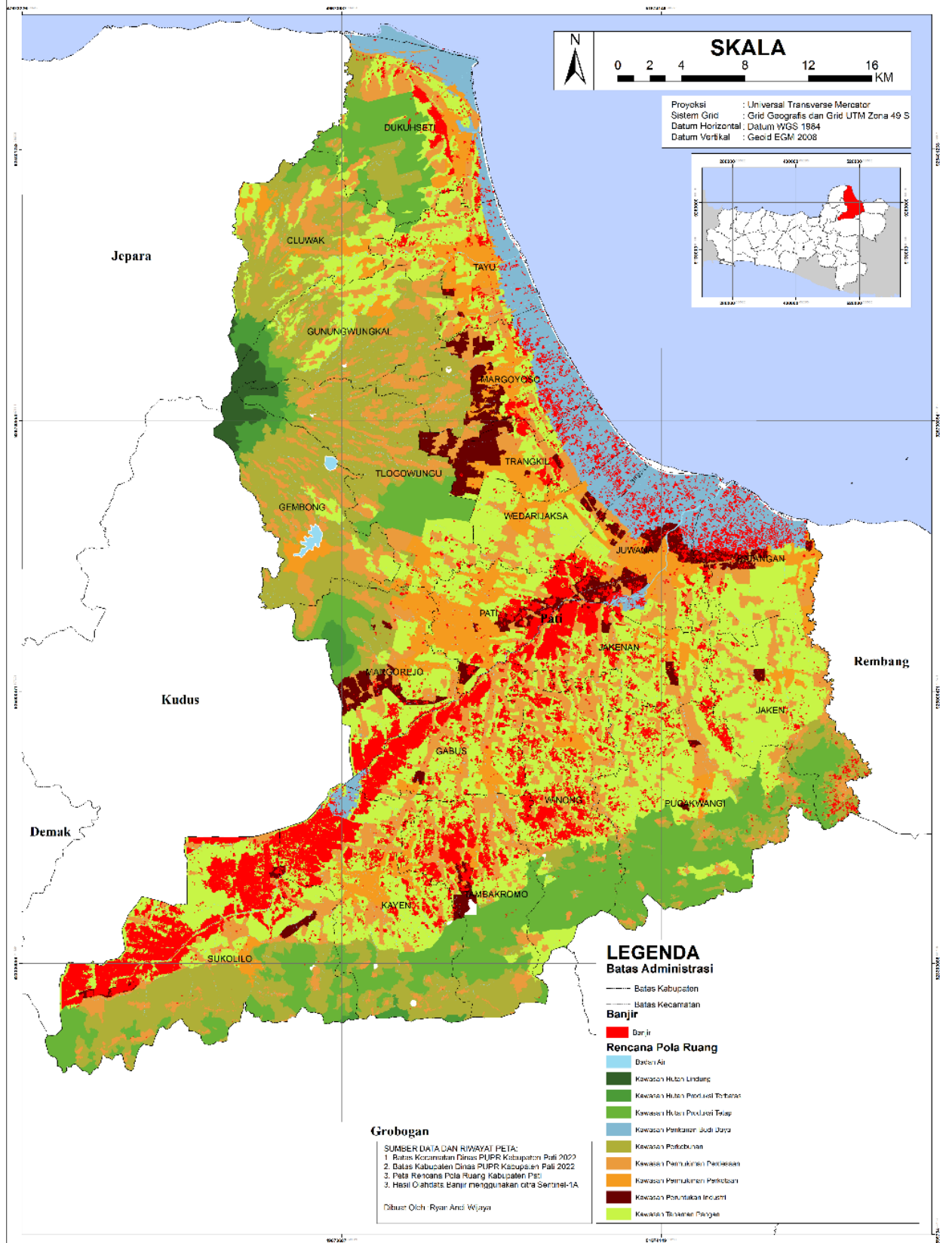
4.5.2 Banjir dengan Rencana Tata Ruang

Analisis banjir melalui overlay dengan Rencana Pola Ruang dilakukan sebagai bagian dari upaya evaluasi terhadap kesesuaian rencana pemanfaatan ruang yang telah ditetapkan oleh pemerintah daerah dengan kondisi aktual kejadian banjir. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi apakah terdapat ketidaksesuaian antara perencanaan tata ruang dan realitas spasial bencana yang terjadi di lapangan.

Apabila ditemukan adanya ketidaksesuaian, seperti fungsi ruang yang direncanakan berada dalam wilayah yang secara eksisting rawan banjir, maka perlu dilakukan langkah peninjauan ulang dan penyesuaian terhadap Rencana Pola Ruang tersebut. Revisi ini sangat penting dalam rangka mendorong perencanaan ruang yang lebih adaptif, responsif terhadap risiko bencana, dan mendukung mitigasi bencana secara berkelanjutan di masa mendatang.

Dengan demikian, hasil overlay antara genangan banjir dan rencana pola ruang tidak hanya berfungsi sebagai alat evaluasi teknis, tetapi juga menjadi landasan strategis bagi pengambilan keputusan kebijakan ruang yang lebih berkelanjutan dan berpihak pada keselamatan masyarakat.

PETA OVERLAY RTRW DENGAN BANJIR KABUPATEN PATI



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 29 Peta Overlay Banjir dengan Rencana Tata Ruang

Berdasarkan peta hasil overlay antara genangan banjir dengan Rencana Pola Ruang Kabupaten Pati, didapatkan berbagai area dengan pemanfaatan ruang tertentu masih terdampak dengan bencana banjir, dimana harusnya Kawasan ini harusnya sudah terhindar dari berbagai ancaman sesuai dengan peruntukan Kawasan tersebut, dimana Kawasan yang terancam adalah:

Tabel 4. 5 Luasan Rencana Tata Ruang yang terdampak Banjir

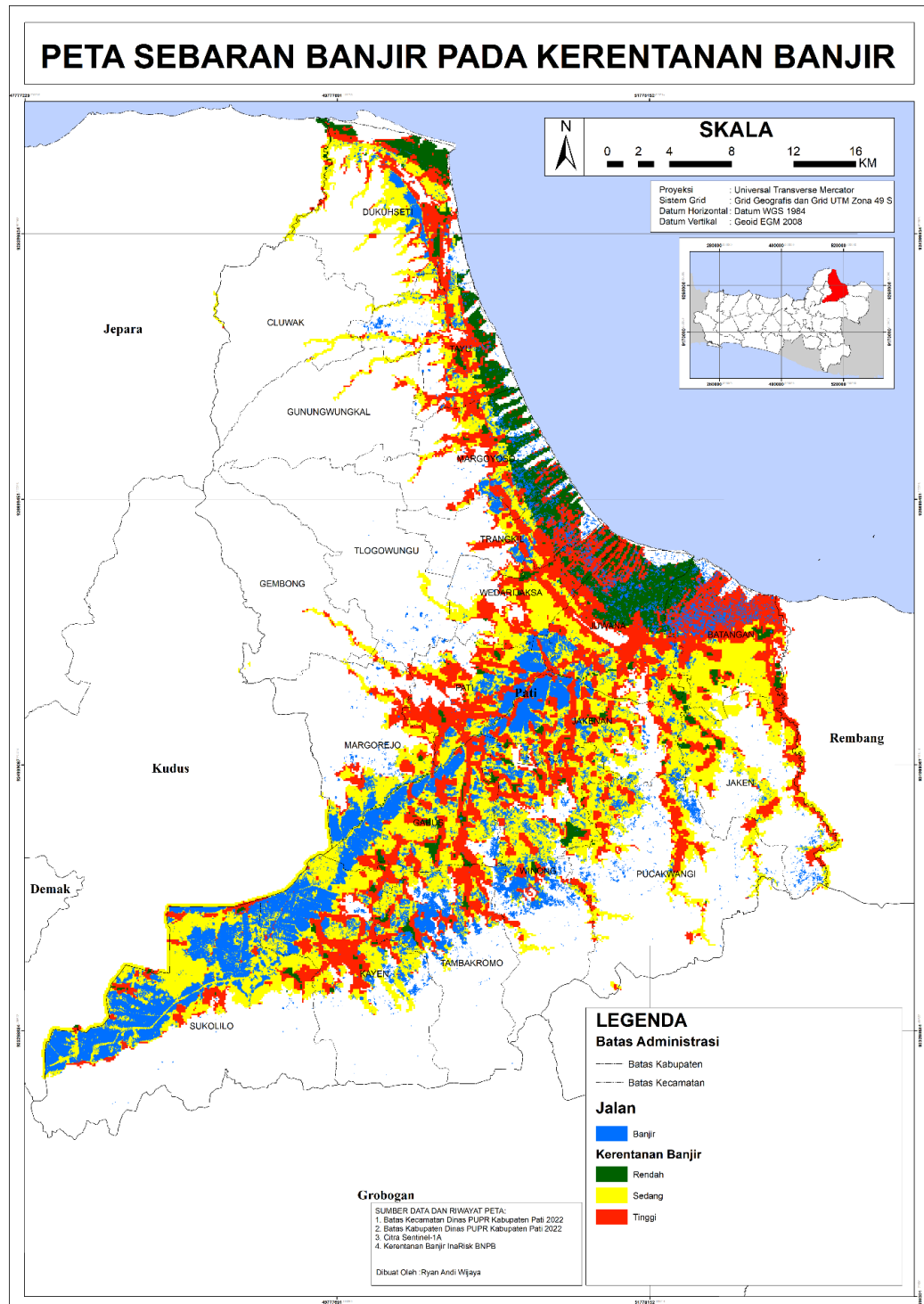
Rencana Tata Ruang	Luas
Kawasan Hutan Produksi Tetap	18,86
Kawasan Perikanan Budi Daya	1.504,41
Kawasan Perkebunan	153,30
Kawasan Permukiman Perdesaan	332,01
Kawasan Permukiman Perkotaan	200,93
Kawasan Peruntukan Industri	984,09
Kawasan Tanaman Pangan	12430,89
Sempadan Pantai	4,56

Sumber: Penulis, 2025

Dalam tabel tersebut dapat diketahui bahwa luasan wilayah yang tergenang banjir berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Pati mengungkapkan bahwa kawasan yang paling luas terkena dampaknya adalah Kawasan yang direncanakan untuk kawasan pertanian tanaman pangan, dengan total luas mencapai sekitar 12.430,89 ha, hal ini juga dipengaruhi bahwa sebagian wilayah Kabupaten Pati merupakan Kawasan lahan pertanian yang berada di dataran rendah, temuan ini menunjukkan bahwa sektor pertanian menjadi sektor yang paling rentan terhadap ancaman banjir. Selain itu, kawasan perikanan budi daya juga menunjukkan dampak yang cukup besar, dengan luasan sekitar 1.504,41 ha, dimana wilayah perikanan budidaya ini mengalami kenaikan air saat hujan deras sehingga terjadi luapan pada kolam atau tambak budidaya. Diikuti juga oleh kawasan peruntukan industri seluas 984,09 ha, yang menandakan potensi gangguan terhadap aktivitas produksi dan ekonomi lokal, karena Kawasan perindustrian di Kabupaten Pati berada di dekat Kawasan pertanian yang sebenarnya berada di daerah rendah dan memiliki resiko banjir yang tinggi. Dan Permukiman di wilayah pedesaan dan perkotaan pun tidak luput dari dampak banjir, masing-masing seluas 332,01 ha dan 200,93 ha, yang menimbulkan risiko terhadap keamanan dan kenyamanan tempat tinggal masyarakat, dimana harusnya wilayah ini merupakan wilayah yang paling aman dari dampak bahaya bencana terutama banjir, karena merupakan pusat dari segala aktifitas dan kegiatan manusia.

4.5.3 Peta deteksi Banjir dengan data Kerentanan InaRisk

Perbandingan hasil analisis dengan data kerentanan Banjir dari InaRisk adalah guna mengetahui kesesuaian banjir yang ada dengan data lainnya. Dimana hasil deteksi ini jika dibandingkan dengan data InaRisk bertujuan juga mengetahui di tingkat berapa banjir yang diolah jika diklasifikasikan dengan rentan kerentanan dari BNPB.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 30 Peta Overlay Banjir dengan data Kerentanan Banjir

Dimana dari hasil Overlay data banjir yang diperoleh dari Pengolahan data Sentinel-1A yang di Overlay dengan data kerentanan banjir InaRisk BNPB didapatkan hasil, yaitu **91%** dari total deteksi banjir yang sesuai dengan data Kerentanan Banjir InaRisk.

Tabel 4. 6 Tabel Perbandingan Banjir dengan Kerentanan

Deteksi Banjir	15.758 ha
Keseuaian InaRisk	14.286 ha
Hasil Overlay	91%

Sumber: Penulis, 2025

Dimana dari hasil analisis ini menandakan bahwa hasil deteksi banjir menggunakan Citra Sentinel-1A sudah sesuai dalam menganalisis banjir, dan dapat digunakan untuk analisis kesesuaian rencana guna lahan pada Rencana Tata Ruang yang ada.

Kemudian dari hasil yang masuk kesesuaian dengan InaRisk tersebut juga dimasukkan dalam kategori tingkat kerentanan yang berbasis data skala dari Kerentanan Banjir InaRisk yang ada. Berikut merupakan hasilnya :

Tabel 4. 7 Luasan merunut rentan kelas

Kerentanan	Luas (ha)	%
Rendah	746,4	5,23
Sedang	11.908	83,38
Tinggi	1.632,2	11,43
Total	14.286	100%

Sumber: Penulis, 2025

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa banjir di Kabupaten Pati berdasarkan data perbandingan dari data kerentanan didapatkan informasi bahwa Banjir yang mendominasi didominasi dengan tingkat kerentanan sedang sebanyak 83%. Yang menandakan lokasi yang masih terdampak dengan banjir perlu dilakukan Evaluasi dalam proses perencanaan penentuan fungsi kawasan.

Dalam proses analisisnya didapatkan persentase luasan per fungsi kawasan yang terdampak paling besarnya dalam Rencana Pola Ruang. Berikut adalah persentase luasanya:

Tabel 4. 8 Persentase luasan terdampak keseluruhan

Keterangan	Luas	Persentase
Kawasan Perikanan Budi Daya	1504	10%
Kawasan Permukiman Perdesaan	332	2%
Kawasan Permukiman Perkotaan	200	1%
Kawasan Peruntukan Industri	984	6%
Kawasan Tanaman Pangan	12430	79%

Sumber: Penulis, 2025

4.5.4 Luasan Pemanfaatan lahan yang terdampak banjir

Dalam hasil evaluasi perlu didapatkan persentase luasan yang terdampak dari total rencana pemanfaatan lahan guna mengetahui berapa persen luas lahan yang masih terdampak banjir. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana perlu dilakukan peninjauan ulang terhadap rencana pemanfaatan ruang, terutama pada wilayah-wilayah yang memiliki tingkat kerentanan sedang hingga tinggi terhadap genangan banjir, berikut adalah persentase dari total pemanfaatan lahan yang direncanakan yang masih terdampak banjir :

Tabel 4. 9 Luasan rencana yang terdampak banjir

Keterangan	Luas terdampak	Luasan Rencana	Persentase
Kawasan Perikanan Budi Daya	1504	10790	14%
Kawasan Permukiman Perdesaan	332	23294	1%
Kawasan Permukiman Perkotaan	200	12164	2%
Kawasan Peruntukan Industri	984	5649	17%
Kawasan Tanaman Pangan	12430	54216	23%

Sumber: Penulis, 2025

Dari tabel yang ada diatas dapat diketahui bahwa :

- Kawasan tanaman pangan menjadi wilayah rencana pemanfaatan lahan yang paling luas terdampak banjir, dengan total luas 23% dari total rencana kawasan tersebut.
- Kawasan peruntukan industri memiliki tingkat terdampak paling tinggi kedua secara persentase, sebanyak 17% dari total rencana kawasan.
- Kawasan perikanan budidaya juga terdampak cukup besar, walaupun dari data kerentanan perikanan budidaya masuk ke kawasan kerentanan rendah, tetapi dalam analisisnya kawasan ini terdampak sebanyak 14% dari total rencana kawasan tersebut.
- Kawasan permukiman perkotaan dan perdesaan, secara persentase terdampak 3% dari total luas wilayah yang direncanakan

A. Kawasan Tanaman Pangan

Kawasan Tanaman Pangan adalah kawasan yang pada Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) difungsikan untuk menjadi kawasan pertanian, dimana kawasan ini merupakan kawasan yang menjadi pusat komoditas tanaman seperti padi, jagung dan lainnya untuk dapat dikonsumsi. Dimana kawasan ini adalah kawasan yang terkena dampak paling besar dari banjir, dimana total dari luasan Kawasan Tanaman Pangan yang terdampak adalah 12.430,89 ha, berikut luasan lahan pertanian perkecamatan yang terdampak:

Tabel 4. 10 Luas Kawasan Tanaman Pangan yang terdampak Banjir

Kecamatan	Luas (ha)
Sukolilo	3.254,90
Kayen	1.722,39
Tambakromo	965,64
Winong	1.218,90
Pucakwangi	422,86
Gabus	1.430,85
Jaken	105,12
Margorejo	492,51
Jakenan	1.084,72
Pati	485,89
Juwana	196,23
Batangan	47,72
Tlogowungu	37,42
Wedarijaksa	88,98
Trangkil	137,89
Margoyoso	178,53
Tayu	174,71
Dukuhseti	385,15

Sumber: Penulis, 2025

Dari data diatas, dapat diketahui bahwa Kawasan yang memiliki peruntukan Tanaman Pangan paling besar terdampak adalah Kecamatan Sukolilo dengan luas terdampaknya 3254.90 ha, Kemudian Kecamatan Kayen 1722,39 ha, dan ada juga Kecamatan Gabus 1430.85 ha, dimana dalam RTRW Kabupaten Pati sendiri harus ada peningkatan kawasan Tanaman Pangan tetapi pada saat musim hujan, kawasan ini malah selalu terendam oleh genangan banjir, yang secara langsung membuat produksi Padi, jagung dan lain sebagainya menjadi menurun drastic, karena genangan pada wilayah tanaman ini berlangsung secara sehari-hari hingga minggu, yang membuat tanaman yang tergenang menjadi gagal panen. Dimana dalam tujuan RTRW Kabupaten Pati kawasan pertanian ini menjadi sektor utama dalam mencapai

peningkatan ketahanan pangan, dimana hal ini masih belum sesuai jika setiap terjadi bencana banjir sektor ini selalu terdampak dan membuatnya tidak berkelanjutan untuk kedepannya. Maka dari itu perlu dilakukan Langkah untuk mengatasinya, berikut merupakan Langkah untuk mitigasinya :

1. Pengendalian tata Kelola air yang baik. Seperti pemasangan pintu klep, penggunaan pompa air dan pembangunan serta pemeliharaan drainase yang baik.
2. Reklamasi Lahan Pertanian yang terdampak banjir, yang masih memungkinkan.

B. Kawasan Perikanan Budidaya

Kawasan Perikanan Budidaya dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) merupakan wilayah yang direncanakan khusus untuk aktivitas budi daya perikanan, baik di tambak air tawar maupun air payau. Kawasan ini berperan penting dalam mendukung produksi komoditas perikanan seperti ikan dan udang, yang memiliki nilai ekonomi tinggi, terutama bagi masyarakat yang tinggal di wilayah pesisir dan dataran rendah yang bergantung pada sektor perikanan sebagai sumber penghidupan utama. Dimana dalam pemodelan genangan banjir wilayah ini terdampak seluas 1504.41 ha, berikut luasan terdampak per kecamatan:

Tabel 4. 11 Luasan Kawasan Perikanan Budidaya yang terdampak Banjir

Kecamatan	Luas (ha)
Kayen	23.60
Gabus	11.88
Juwana	316.66
Batangan	512.03
Wedarijaksa	102.75
Trangkil	199.97
Margoyoso	269.05
Tayu	46.76
Dukuhseti	21.72

Sumber: Penulis, 2025

Dimana dari data tersebut, dapat diketahui bahwa Kecamatan yang terdampak banjir pada Perikanan Budidaya adalah Kecamatan Batangan dengan luas 512.03 ha, Kecamatan Juwana 316.66 ha, Kecamatan Margoyoso 269 ha dan Kecamatan Trangkil 200,9 ha. Dimana pada wilayah Perikanan budidaya yang pada kondisi eksistingnya adalah tambak, terjadi luapan air yang melebihi kendali para petani tambak, dimana hal ini sering membuat kerugian karena hasil tambak akan merunun akibat ikan yang lepas dan berpindah lokasi ke tambak lain bahkan laut. Dimana kawasan Perikanan Budidaya ini salah satu sektor yang mendukung kemajuan ekonomi local lewat budidaya ikan dan faktor pendukung dalam menjaga ketahanan pangan di Kabupaten Pati itu sendiri. Maka

perlu dilakukan pembangunan saluran drainase yang terintegrasi dengan tambak untuk bisa mengalirkan luapan air yang ada.

C. Kawasan Peruntukan Industri

Kawasan Peruntukan Industri dalam dokumen RTRW merupakan area yang dialokasikan secara khusus untuk menunjang kegiatan industri dalam berbagai skala, mulai dari industri kecil, menengah, hingga besar. Kawasan ini memiliki fungsi penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi wilayah melalui proses produksi, pengolahan, hingga distribusi produk. Selain itu, keberadaan zona industri ini juga berperan dalam membuka peluang kerja dan meningkatkan nilai tambah dari potensi sumber daya lokal yang dimiliki daerah. Dimana dalam proses overlay dengan banjir Kawasan Peruntukan Industri ini terdampak seluas 984,09 ha.

Tabel 4. 12 Luasan Kawasan Peruntukan Industri yang terdampak Banjir

Kecamatan	Luas(ha)
Sukolilo	140.70
Kayen	5.89
Tambakromo	76.18
Pucakwangi	2.17
Gabus	3.87
Jaken	1.72
Margorejo	21.01
Jakenan	110.62
Pati	309.34
Juwana	189.71
Batengan	95.28
Wedarijaksa	7.06
Trangkil	11.77
Margoyoso	4.42
Tayu	4.05

Sumber: Penulis, 2025

Dari hasil tabel diatas dapat diketahui bahwa Kawasan yang difungsikan sebagai Peruntukan Industri (KPI) di Kabupaten Pati juga terdampak Banjir, dimana Kawasan Industri di Kecamatan Pati terdampak paling besar, seluas 309 ha, kemudian KPI di Kecamatan Juwana seluas 189 ha dan Kecamatan Sukolilo 151 ha, dimana hal ini tidak sesuai dengan RTRW Kabupaten Pati mengenai pengembangan ekonomi lokal, terlebih banjir pada Kawasan Peruntukan Industri dapat membuat aktivitas industry menjadi macet dan menurun, serta mengganggu kegiatan industry. Dimana banjir ini juga bisa membuat Industri tersebut menjadi tidak aktif akibat banjir. Maka dalam hal ini perlu

dilakukan Tindakan dalam menangani banjir pada Kawasan Peruntukan Industri seperti pembuatan kolam retensi dan zona hijau dekat Kawasan peruntukan Industri.

D. Kawasan Permukiman Pedesaan

Kawasan Permukiman Pedesaan adalah kawasan yang memiliki peranan fungsi sebagai kawasan yang digunakan untuk dijadikan permukiman di kawasan perdesaan, dimana salah satu cirinya adalah tingkat kepadatan yang rendah hingga sedang. Dimana kawasan ini dekat dengan kawasan pertanian dan Permukiman Pedesaan juga memiliki luas kurang lebih 23.295 ha. Dimana kawasan yang diperuntukan untuk Kawasan Permukiman Perdesaan ini yang terdampak banjir per-kecamatan adalah:

Tabel 4. 13 Luasan Kawasan Permukiman Pedesaan yang Terdampak Banjir

Kecamatan	Luas (ha)
Sukolilo	96,74
Kayen	17,12
Tambakromo	22,48
Winong	11,74
Pucakwangi	6,50
Gabus	52,30
Jaken	3,26
Margorejo	15,00
Jakenan	11,07
Pati	12,86
Juwana	10,58
Batangan	8,08
Tlogowungu	0,72
Wedarijaksa	2,29
Trangkil	32,35
Margoyoso	11,14
Tayu	13,57
Dukuhseti	4,21

Sumber: Penulis, 2025

Dalam tabel tersebut merupakan luasan Kawasan peruntukan Permukiman Perdesaan yang terdampak, dimana dapat diketahui Kecamatan yang terdampak Banjir paling besar adalah Kecamatan Sukolilo dengan luas 96,74 ha, Kecamatan Gabus 52,30 ha dan Kecamatan Trangkil 32,35 ha. Dimana harusnya kawasan ini merupakan kawasan yang memiliki keamanan dari berbagai bencana karena merupakan kawasan yang menjadi pusat aktivitas para warga Perdesaan

E. Kawasan Permukiman Perkotaan

Kawasan Permukiman Pedesaan adalah Kawasan yang memiliki fungsi sebagai Kawasan untuk permukiman padat yang berada di daerah perkotaan, dimana Kawasan ini memiliki luas kurang lebih 12.165 ha, dimana intensitas bangunannya adalah

berkepadatan sedang hingga tinggi, serta bangunan vertical. Dan kegiatan utama dari wilayah ini tidak dengan pertanian. Dimana luasan Kawasan yang diperuntukan untuk Pemukiman Perkotaan yang terdampak banjir adalah:

Tabel 4. 14 Luasan Kawasan Permukiman Perkotaan Yang Terdampak Banjir

Kecamatan	Luas (ha)
Sukolilo	0,28
Kayen	3,36
Tambakromo	3,37
Winong	3,76
Pucakwangi	4,01
Gabus	3,73
Jaken	0,16
Margorejo	9,81
Jakenan	10,58
Pati	16,34
Juwana	23,82
Batangan	5,08
Tlogowungu	3,32
Wedarijaksa	3,11
Trangkil	13,68
Margoyoso	25,47
Tayu	55,18
Dukuhseti	15,88

Sumber: Penulis, 2025

Dari data tabel diatas dapat diketahui untuk luasan kecamatan yang memiliki Kawasan peruntukan Permukiman Perkotaan dan Terdampak Banjir, dimana yang terdampak paling luas adalah Kecamatan Tayu dengan luas 55 ha, Kecamatan Margoyoso 25 ha dan Kecamatan Juwana 23 ha, dimana lokasi dari 3 kecamatan yang terdampak banjir untuk Kawasan Permukiman perkotaan ini memiliki kesamaan daerah yaitu dekat dengan laut.

4.6 Temuan

Temuan dalam penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini adalah hasil analisis yang penulis temui, dimana tersusun atas poin-poin penting di dalam Tugas Akhir dengan judul “Evaluasi Rencana Tata Ruang Kabupaten Pati Berbasis Bahaya Bencana Banjir menggunakan Citra Sentinel-1A”.

4.6.1 Citra Sentinel-1A untuk Pemodelan Banjir

Dalam pengolahan data untuk melakukan pemodelan banjir menggunakan citra Sentinel-1A ini, memiliki data hasil yang akurat, dimana hasil pemodelan banjir sesuai dengan fakta kejadian banjir dilapangan, dimana akurasi ini didapat setelah melakukan Validasi langsung ke lapangan. Tetapi kekurangan dalam penggunaan metode ini adalah

ketersediaan data citra yang harus sesuai dengan tanggal kejadian banjir. Kemudian salah satu yang membuat pemodelan menggunakan Sentinel-1A ini adalah kurang dapat membaca banjir yang sifatnya limpasan dan berlangsung tidak lama, tidak dapat terdeteksi dengan baik.

4.6.2 Sebaran Genangan Banjir tahun 2023 dan 2024

Dalam Pemodelan genangan banjir ini, hasil sebaran genangan banjir yang didapat adalah banjir melanda 18 Kecamatan dari total 21 Kecamatan yang ada di Kabupaten Pati, dengan total luas terdampak lebih dari 15.000 ha, dimana Kecamatan Sukolilo, Kecamatan Kayen dan Kecamatan Gabus merupakan wilayah yang terdampak banjir paling besar. Dimana banjir ini berdampak pada 10% dari total luas Kabupaten Pati itu sendiri.

4.6.3 Overlay banjir dengan RTRW

Dalam Overlay banjir yang terjadi dengan Rencana Pemanfaatan Ruang di Kabupaten Pati ditemukan ketidaksesuaian antara data sebaran genangan banjir dengan fungsi atau peruntukan pemanfaatan ruang ada, dimana masih adanya pemanfaatan ruang yang penting bagi kehidupan manusia tetapi masih terdampak oleh banjir. Kawasan yang direncanakan sebagai:

- a. Kawasan yang memiliki fungsi Peruntukan Permukiman justru berada pada wilayah yang tergenang banjir. Dimana hal ini harus dikaji ulang dan dilakukan relokasi atau penentuan pemanfaatan lahan ulang. Dimana kawasan yang masih terdampak banjir dialihfungsikan untuk kawasan pertanian, yang memiliki musim panen musiman
- b. Kawasan Tanaman Pangan menjadi sektor yang paling luas terdampak banjir, yaitu seluas 12.430,89 ha. Hal ini akan berpengaruh terhadap produksi tanaman pangan seperti padi dan jagung yang akan menurun drastic, dan hal ini juga kurang sesuai dengan tujuan RTRW Kabupaten Pati untuk menjaga ketahanan pangan. Cara mengatasi kawasan Tanaman Pangan yang sering terdampak banjir adalah dengan menjaga sistem drainase atau perairan yang baik, Pemilihan bibit tanaman yang akan bisa dipanen sebelum musim penghujan puncak,
- c. Kawasan Peruntukan Industri, adalah sektor yang menjadi pendukung ekonomi tetapi kawasan yang berfungsi sebagai pusat produksi ini masih terdampak genangan banjir yang membuat aktivitas dari produksi dan aktivitas industri lainnya terganggu bahkan terhenti. Dimana hal ini harus dilakukan relokasi lahan untuk kawasan Peruntukan Industri untuk bisa mencegah hal tersebut terjadi kedepannya. Dimana dapat ditentukan Kawasan peruntukan industri di area lahan pertanian yang aksesnya

dan sekitarnya tidak terdampak banjir dan dilakukan reklamasi lahan untuk membuat kawasan ini tidak berada di bagian rendah.

4.6.4 Kondisi Fisik Alam di Kabupaten Pati

Salah satu hal yang membuat Kabupaten Pati sering terjadi bencana banjir adalah lokasi yang terjadi banjir tersebut berada di dekat sungai dan memiliki topografi yang rendah, hal ini membuat jika sungai terjadi luapan air, maka akan menyebar ke sekitarnya. Dimana dalam hal ini kasus paling riskan adalah di daerah Kecamatan Sukolilo yang dimana sungai dengan debit air tinggi berada di atas lahan pertanian, dan jika terjadi luapan air sedikit, akan langsung tumpah ke lahan pertanian di sekitarnya. Berikut salah satu gambarannya:



Sumber :Penulis 2025

Gambar 4. 31 Foto Kondisi Sungai dengan Sawah

Dapat dilihat dari Foto tersebut bahwa, ketinggian sungai, lebih tinggi dari ketinggian sawah. Hal ini berpengaruh pada arah banjir dan lokasi terdampak banjirnya, yang dimana lahan pertanian tersebut akan sangat mudah untuk terdampak banjir.



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 4. 32 Foto Kondisi Sungai dengan Permukiman

Dimana selain banjir, ada lokasi permukiman warga yang lokasinya berada di bawah sungai yang membuatnya sangat berbahaya karena rentan terhadap dampak sungai yang meluap dan mengakibatkan banjir di sekitarnya. Dan dikarenakan wilayah yang rendah serta sungai yang mudah meluap membuat banjir di area pertanian khususnya susah untuk surut atau mereda karena tidak dapat mengalir ke sungai dengan baik.

4.6.5 Implikasinya dengan Rencana Tata Ruang di Kabupaten Pati

Berdasarkan hasil analisis pemodelan genangan banjir dan overlay dengan data Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Pati, dapat diketahui bahwa masih terdapat ketidaksesuaian antara fungsi ruang yang direncanakan dengan kondisi lapangan yang rawan terhadap bencana banjir. Beberapa kawasan seperti kawasan tanaman pangan, peruntukan industri, permukiman, serta perikanan budidaya yang seharusnya menjadi pusat aktivitas ekonomi dan sosial justru berada di wilayah yang tergenang banjir hampir setiap tahun. Hal ini menunjukkan bahwa proses penyusunan RTRW belum sepenuhnya memperhatikan aspek risiko bencana secara spasial, khususnya terkait banjir.

Melihat kondisi tersebut, maka sudah seharusnya data spasial hasil pemodelan banjir yang diperoleh melalui pengolahan citra satelit Sentinel-1A dan telah divalidasi di lapangan—dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam proses revisi RTRW Kabupaten Pati ke depan. Penggunaan data penginderaan jauh terbukti mampu memberikan informasi aktual dan menyeluruh terkait sebaran wilayah rawan genangan, yang dapat membantu pemerintah daerah dalam menyusun kebijakan pemanfaatan ruang yang lebih tepat sasaran. Integrasi antara pemodelan risiko bencana dan perencanaan tata ruang ini menjadi langkah penting untuk mewujudkan pembangunan wilayah yang tangguh terhadap bencana, serta mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan di Kabupaten Pati.