



**PEMETAAN KAWASAN BANJIR DI KOTA BEKASI
DENGAN METODE PENGINDERAAN JAUH
MENGUNAKAN DATA RADAR**

SKRIPSI

Oleh

**Erlynda Hapsari
NIM 131810201049**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PEMETAAN KAWASAN BANJIR DI KOTA BEKASI
DENGAN METODE PENGINDERAAN JAUH
MENGUNAKAN DATA RADAR**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S-1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

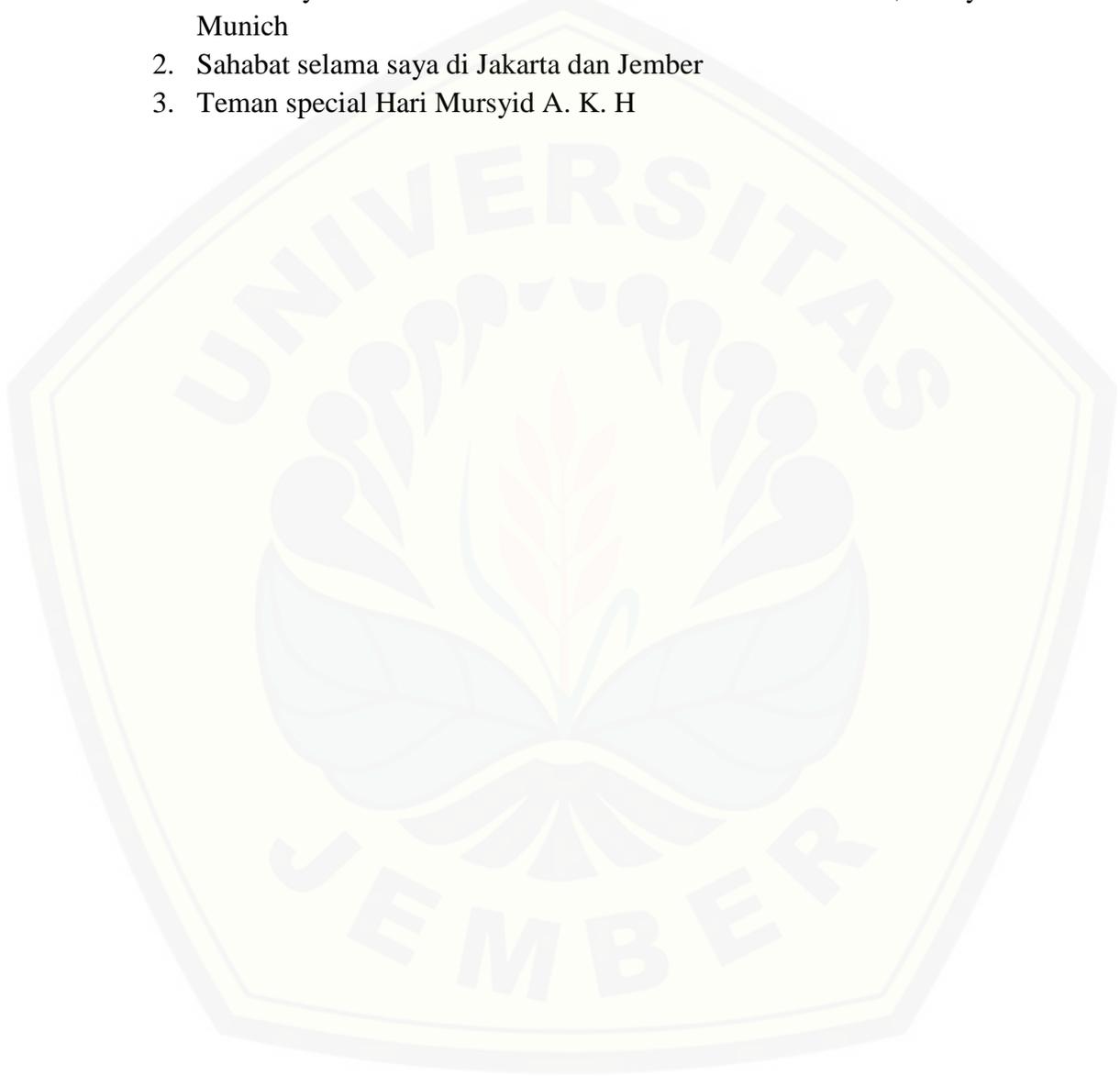
Oleh
Erlynda Hapsari
NIM 131810201049

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

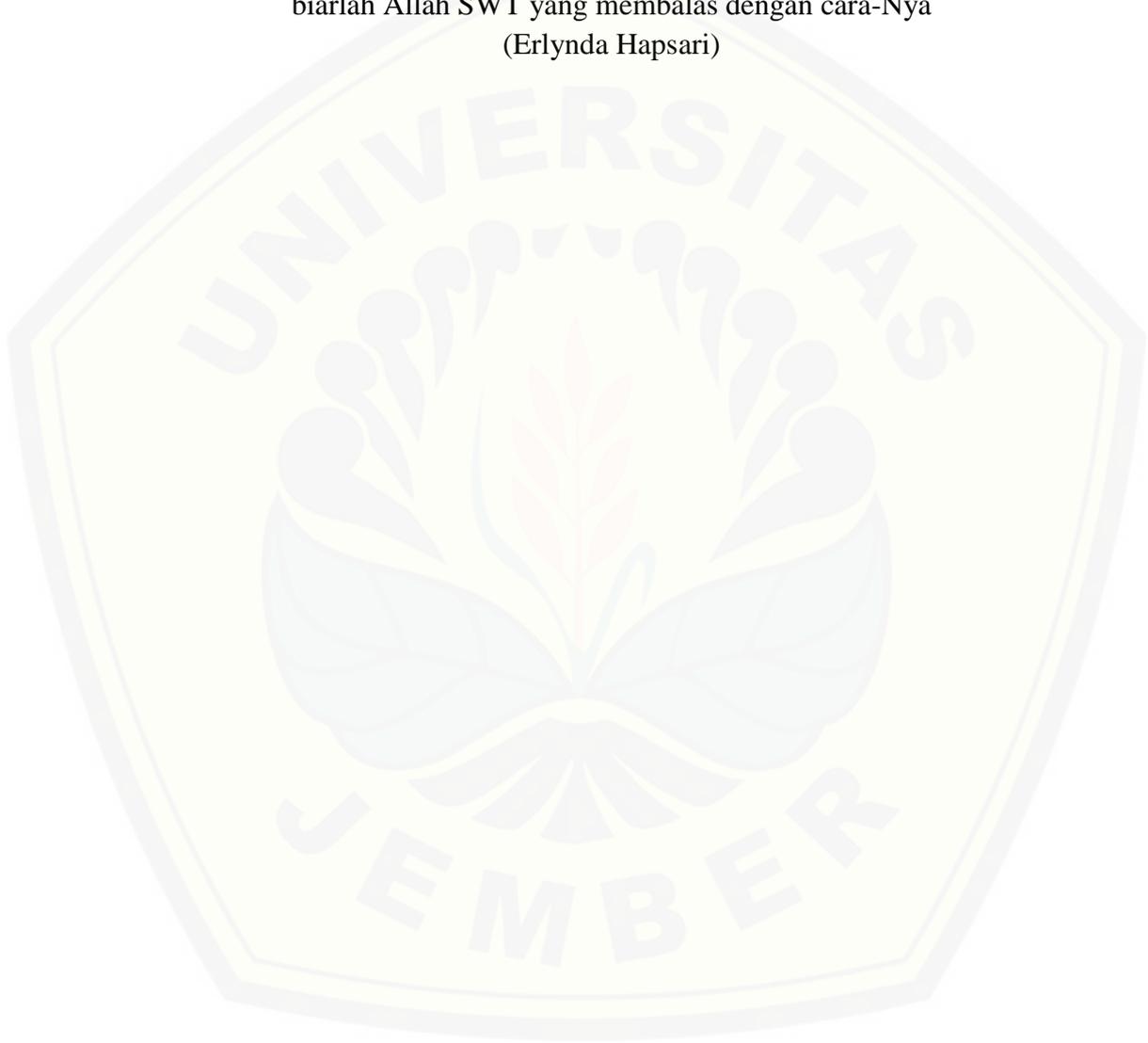
1. Kedua orang tercinta ayah alm. H. Suharno dan ibu Hj. Isayem Widimulyani dan kedua kakak tercinta Nuzulia Ishartati, Widya Astrea Munich
2. Sahabat selama saya di Jakarta dan Jember
3. Teman special Hari Mursyid A. K. H



MOTTO

Jangan membalas kejahatan orang lain dengan kejahatan karena sama saja kita termasuk dalam golongan tersebut. Bersabarlah bila kita merasa terdzalimi dan biarlah Allah SWT yang membalas dengan cara-Nya

(Erlynda Hapsari)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Erlynda Hapsari

NIM : 131810201049

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemetaan Kawasan Banjir di Kota Bekasi dengan Metode Penginderaan Jauh menggunakan Data Radar” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2019

Yang menyatakan,

Erlynda Hapsari

NIM 131810201049

SKRIPSI

**PEMETAAN KAWASAN BANJIR DI KOTA BEKASI
DENGAN METODE PENGINDERAAN JAUH
MENGUNAKAN DATA RADAR**

Oleh

**Erlynda Hapsari
NIM 131810201049**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pemetaan Kawasan Banjir di Kota Bekasi dengan Metode Penginderaan Jauh menggunakan Data Radar”, karya Erlynda Hapsari telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas MIPA Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Anggota I,

Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D.

Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.

NIP. 197202101998021001

NIP. 197003271997022001

Anggota II,

Anggota III,

Supriyadi, S.Si., M.Si.

Ir. Misto, M.Si.

NIP. 198204242006041003

NIP. 195911211991031002

Mengesahkan

Dekan,

Drs. Sujito, Ph. D.

NIP. 19610204 198711 1 001

RINGKASAN

Pemetaan Kawasan Banjir di Kota Bekasi dengan Metode Penginderaan Jauh menggunakan Data Radar; Erlynda Hapsari, 131810201049; 2019; 79 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Kondisi topografi Kota Bekasi memiliki kemiringan antara 0 - 2% dan terletak pada ketinggian antara 11m - 81m di atas permukaan laut. Kemiringan yang rendah ini membuat Kota Bekasi memiliki banyak sungai, waduk dan lainnya yang mudah tergenangi air. Oleh sebab itu, Kota Bekasi sering kali terkena dampak banjir akibat dari luapan air tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui wilayah Kota Bekasi yang terkena dampak banjir dengan metode pemetaan. Pemetaan yang dilakukan yaitu menggunakan teknik penginderaan jauh aktif. Penginderaan jauh aktif ini mengambil data radar sentinel 1A. Penggunaan sistem aktif radar karena menggunakan gelombang mikro dalam pengambilan citranya.

Metode dalam penelitian ini menggunakan *supervised classification* untuk menentukan beberapa kelas yang digunakan dalam klasifikasi. Kelas-kelas yang digunakan adalah pemukiman banjir, pemukiman tidak banjir, non pemukiman banjir, dan non pemukiman tidak banjir. Selanjutnya dilakukan pemetaan untuk setiap kelurahan di Kota Bekasi berdasarkan kelasnya.

Hasil penelitian ini terbagi menjadi 56 kelurahan dari 12 kecamatan di Kota Bekasi. Terdapat 17 kelurahan untuk kelas pemukiman banjir, 21 kelurahan untuk kelas pemukiman tidak banjir, 6 kelurahan untuk kelas non pemukiman banjir, dan 12 kelurahan untuk kelas non pemukiman tidak banjir. Pemukiman dalam penelitian ini dapat dikategorikan seperti rumah, kantor, dan gedung gedung bertingkat lainnya. Kemudian untuk kelas non pemukiman dapat dicontohkan seperti sawah, jalan, sungai, dan sebagainya.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT penulis panjatkan, karena rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pemetaan Kawasan Banjir di Kota Bekasi dengan Metode Penginderaan Jauh menggunakan Data Radar”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan dan arahnya pada penyusunan skripsi ini;
2. Supriyadi, S.Si., M.Si., dan Ir. Misto, M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan kritik dan saran pada penyusunan skripsi ini;
3. Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang sudah memberikan dukungan;
4. Segenap dosen dan karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
5. Semua sahabat yang telah banyak memberikan bantuan, dorongan serta motivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, maka kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan selanjutnya

Jember, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| PERSEMBAHAN | ii |
| MOTTO | iii |
| PERNYATAAN..... | iv |
| PENGESAHAN | vi |
| RINGKASAN | vii |
| PRAKATA | viii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiii |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.4 Tujuan..... | 4 |
| 1.5 Manfaat..... | 4 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA..... | 6 |
| 2.1 Kota Bekasi | 6 |
| 2.2 Banjir | 6 |
| 2.2.1 Bencana Banjir..... | 6 |
| 2.2.2 Pengertian Banjir | 7 |
| 2.2.3 Jenis Banjir | 7 |
| 2.2.4 Daerah Rawan Banjir..... | 8 |
| 2.2.5 Curah Hujan..... | 8 |
| 2.2.6 Karakteristik dan Dampak Banjir | 8 |
| 2.3 Penginderaan Jauh | 10 |
| 2.3.1 Pengertian Penginderaan Jauh | 10 |
| 2.3.2 Proses Penginderaan Jauh..... | 11 |

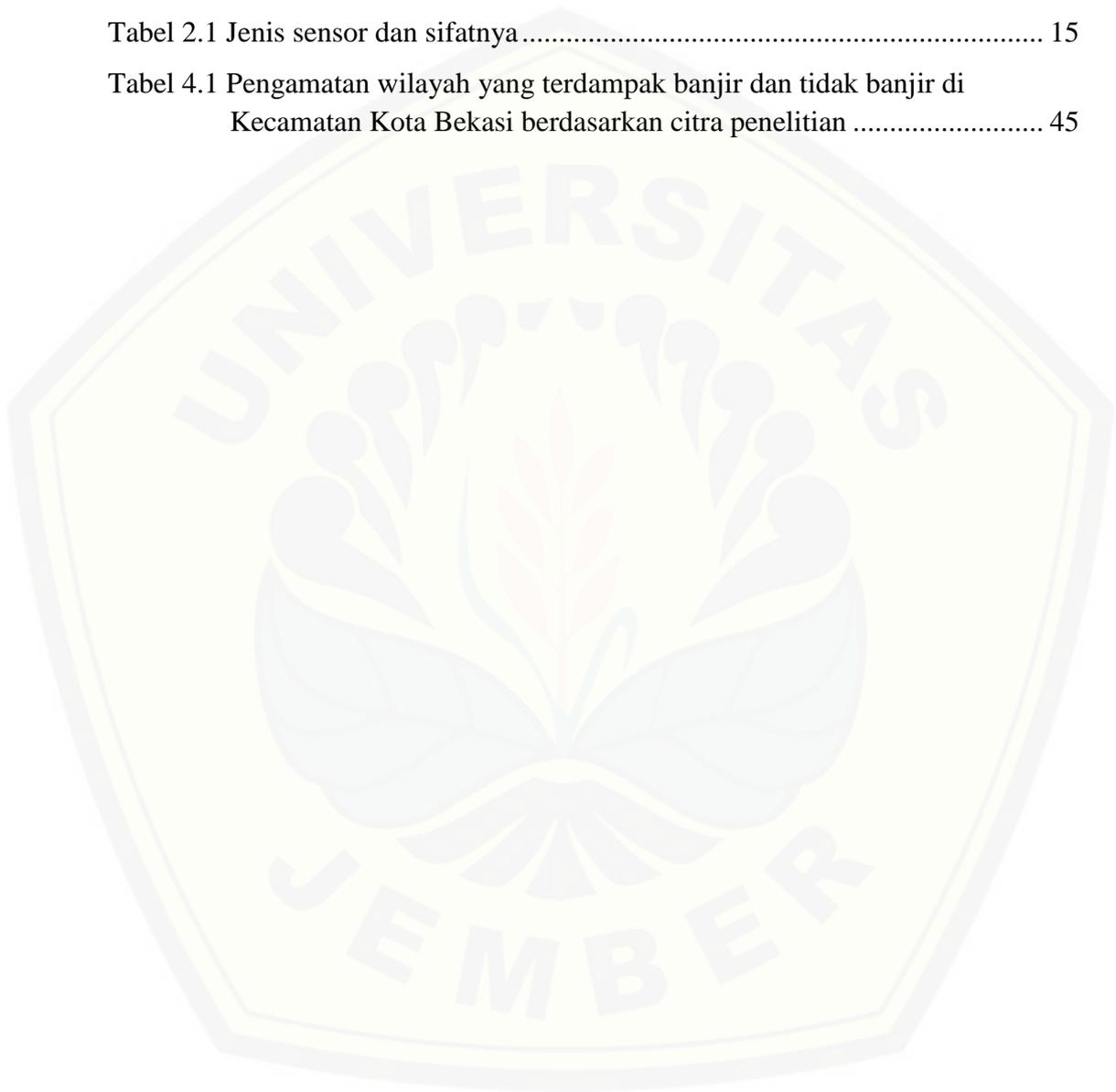
| | | |
|-----------------------|--|-----------|
| 2.3.3 | Interpretasi Citra | 12 |
| 2.3.4 | Citra Komposit Warna | 14 |
| 2.3.5 | Klasifikasi Citra | 14 |
| 2.3.6 | Sensor | 15 |
| 2.3.7 | Data Citra Radar | 16 |
| 2.3.8 | Pengolahan Citra Radar | 18 |
| 2.3.9 | Dasar Fisika Penginderaan Jauh | 19 |
| BAB 3. | METODE PENELITIAN | 25 |
| 3.1 | Rancangan Penelitian | 25 |
| 3.2 | Jenis dan Sumber Data | 25 |
| 3.3 | Operasional Variabel | 25 |
| 3.4 | Kerangka Pemecahan Masalah | 26 |
| 3.5 | Prosedur Penelitian | 26 |
| 3.5.1 | Tahap Persiapan | 26 |
| 3.5.2 | Tahap Pengolahan | 28 |
| BAB 4. | HASIL DAN PEMBAHASAN | 30 |
| 4.1 | Koreksi pada Citra | 30 |
| 4.1.1 | Koreksi Radiometrik | 32 |
| 4.1.2 | <i>Speckle Filtering</i> | 35 |
| 4.1.3 | Koreksi Geometrik | 37 |
| 4.2 | Pengolahan Data Citra | 40 |
| 4.2.1 | <i>Cropping</i> | 40 |
| 4.2.2 | Komposit Warna | 41 |
| 4.2.3 | <i>Supervised Classification</i> | 42 |
| 4.2.4 | Hasil Klasifikasi | 43 |
| BAB 5. | PENUTUP | 48 |
| 5.1 | Kesimpulan | 48 |
| 5.2 | Saran | 48 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 49 |
| LAMPIRAN | | 54 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Proses penginderaan jauh | 11 |
| Gambar 2.2 Gelombang elektromagnetik | 20 |
| Gambar 2.3 Spektrum elektromagnetik dan saluran yang digunakan dalam penginderaan jauh | 21 |
| Gambar 2.4 Interaksi antara tenaga elektromagnetik dan atmosfer | 22 |
| Gambar 2.5 Jendela atmosfer hingga panjang gelombang 14 μm | 23 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian | 26 |
| Gambar 4.1 Awal mula posisi citra yang dipilih | 30 |
| Gambar 4.2 Citra saat belum ada pengkoreksian untuk data sebelum dan sesudah banjir | 31 |
| Gambar 4.3 Citra koreksi radiometrik sebelum banjir tanggal 1 januari 2017 | 33 |
| Gambar 4.4 Citra koreksi radiometrik sesudah banjir tanggal 22 januari 2017 | 34 |
| Gambar 4.5 Citra <i>speckle filtering</i> sebelum banjir tanggal 1 januari 2017 | 36 |
| Gambar 4.6 Citra <i>speckle filtering</i> sesudah banjir tanggal 22 januari 2017 | 37 |
| Gambar 4.7 Citra koreksi geometrik sebelum banjir tanggal 1 januari 2017 | 38 |
| Gambar 4.8 Citra koreksi geometrik sesudah banjir tanggal 22 januari 2017 | 39 |
| Gambar 4.9 <i>Cropping</i> daerah penelitian | 41 |
| Gambar 4.10 Tampilan citra untuk wilayah Kota Bekasi | 42 |
| Gambar 4.11 Citra berdasarkan kelas yang sudah ditentukan dengan <i>supervised</i> <i>classification</i> | 43 |
| Gambar 4.12 Citra kecamatan di Kota Bekasi berdasarkan kelas yang telah ditentukan | 44 |
| Gambar 4.13 Diagram batang sebaran klasifikasi wilayah yang terdampak banjir dan tidak banjir di Kota Bekasi | 47 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 2.1 Jenis sensor dan sifatnya..... | 15 |
| Tabel 4.1 Pengamatan wilayah yang terdampak banjir dan tidak banjir di Kecamatan Kota Bekasi berdasarkan citra penelitian | 45 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|---|---------|
| 4.1 <i>Training area</i> | 54 |
| Gambar L1 Citra dengan <i>training area</i> sebelum <i>cropping</i> sebanyak 69 sampel berdasarkan kelas-kelasnya..... | 54 |
| 4.2 Perhitungan tiap sampel masing-masing kelas untuk sensor VH dan VV..... | 54 |
| a. Pemukiman banjir | 54 |
| Gambar L2 Diagram garis pemukiman banjir sensor VH | 57 |
| Gambar L3 Diagram garis pemukiman banjir sensor VV | 57 |
| b. Pemukiman tidak banjir | 57 |
| Gambar L4 Diagram garis pemukiman tidak banjir sensor VH | 60 |
| Gambar L5 Diagram garis pemukiman tidak banjir sensor VV | 60 |
| c. Non pemukiman banjir..... | 60 |
| Gambar L6 Diagram garis non pemukiman banjir sensor VH | 63 |
| Gambar L7 Diagram garis non pemukiman banjir sensor VV | 63 |
| d. Non pemukiman tidak banjir..... | 63 |
| Gambar L8 Diagram garis non pemukiman tidak banjir sensor VH | 66 |
| Gambar L9 Diagram garis non pemukiman tidak banjir sensor VV | 66 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang banyak dilanda bencana. Apabila dilihat dari segi iklim, Indonesia memiliki iklim tropis dengan ciri-ciri perubahan cuaca ekstrim dan angin yang cukup kencang. Oleh karena itu, Indonesia tercatat sebagai negara rawan bencana oleh Badan Pencegahan Bencana PBB atau *United Nation International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR)* pada tahun 2009. Di Asia sendiri, Indonesia dikenal sebagai salah satu negara yang hampir tiap tahun mengalami banjir. Pada bulan Januari 2013, terdapat sekitar 120 kejadian bencana di Indonesia. Akibat bencana tersebut maka 123 orang meninggal, 179.659 orang menderita dan mengungsi, 940 rumah rusak berat, 2.717 rumah rusak sedang, 10.798 rumah rusak ringan, kerusakan fasilitas umum lainnya. Perkiraan kerugian tersebut belum memperhitungkan bencana banjir dalam skala kecil, kerugian immaterial dan kerugian tidak langsung yang tidak sedikit jumlahnya (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2013). Selama musim hujan seperti bulan Januari-Februari, semua pihak (baik pemerintah maupun masyarakat) biasanya khawatir dengan datangnya bencana banjir. Curah hujan pada periode tersebut biasanya lebih tinggi dari bulan lainnya. Oleh karena itu masyarakat yang bertempat tinggal di kawasan rawan banjir (bantaran sungai, dataran banjir, pantai, dan lain-lain) biasanya sudah siap dengan kemungkinan terburuk mengalami banjir, apalagi bila tempat tinggalnya berada dekat bagian perairan khususnya sungai (Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika, 2013).

Salah satu wilayah Indonesia yang mengalami banjir parah adalah Pulau Jawa. Banjir merupakan bencana yang paling sering terjadi terutama saat musim hujan. Banjir biasanya dijumpai pada tanggul sungai yang jebol akibat terjangan air dan kemudian menggenangi areal pertanian, rumah penduduk, jaringan jalan, fasilitas sosial, dan lain-lain. Ketinggian air ada yang mencapai lebih dari satu meter. Mengingat tingginya genangan air serta dampak yang ditimbulkan maka beberapa kawasan banjir tersebut berada dalam status bahaya III, siaga atau

bahkan darurat banjir (Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Jawa Barat, 2009). Wilayah yang terdampak banjir di Kota Bekasi sejak tahun 2009 terus mengalami peningkatan hingga 2013. Tercatat sekitar 676,8 Ha area yang terendam banjir di 11 kecamatan dari 12 kecamatan yang ada di Kota Bekasi dengan luasan area terluas yang terendam banjir berada di Kecamatan Bekasi Timur (Rencana Tata Ruang dan Wilayah Kota Bekasi, 2013). Selain faktor ulah manusia, kurang tanggapnya pemerintah dalam mengatasi permasalahan ini merupakan salah satu penyebab terjadinya banjir tahunan. Akibatnya kerugian yang ditimbulkan akan semakin meningkat pula tiap tahunnya apabila terus dibiarkan seperti ini. Kejadian bencana banjir tersebut juga sangat dipengaruhi oleh faktor alam berupa curah hujan yang diatas normal.

Oleh karena itu, diperlukan suatu pemetaan sebagai informasi untuk penduduk wilayah sekitar yang kemungkinan terkena dampak banjir. Pemetaan melalui pengumpulan data lapangan dapat menghasilkan data yang akurat tetapi tidak mudah karena jangkauan pengamatan dibatasi oleh genangan. Salah satu teknik yang dapat diterapkan yaitu menggunakan data penginderaan jauh satelit (Centre for Space Science & Technology Education in Asia and the Pacific, 2006).

Menurut Lillesand & Kiefer (1979), penginderaan jauh ialah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang obyek, daerah, atau gejala dengan jalan menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung terhadap objek, daerah, atau gejala yang dikaji. Alat yang dimaksud dalam bahasan ini ialah alat perekaman atau sensor. Pada umumnya sensor dipasang pada wahana (*platform*) yang berupa pesawat terbang, satelit, atau pesawat ulak-alik. Teknik penginderaan dilakukan dari jarak jauh sehingga disebut penginderaan jauh dan objek yang ingin diketahui berupa objek di permukaan bumi. Selain itu, penginderaan ini juga memerlukan energi saat memancarkan atau memantulkan sebuah objek untuk merekam radiasi elektromagnetiknya. Interaksi antara energi dengan objek direkam oleh sensor. Perekamannya dilakukan menggunakan kamera atau alat perekam lainnya. Hasil rekaman ini disebut data penginderaan jauh yang disingkat dengan istilah data.

Data harus diterjemahkan menjadi informasi tentang objek, daerah, atau fenomena di permukaan bumi. Proses penterjemahan data menjadi informasi disebut analisis atau interpretasi data. Penginderaan jauh akan menghasilkan sebuah citra (*image* atau *scene*) yang merupakan representasi dua dimensi dari suatu objek di dunia nyata. Dalam penginderaan jauh, citra merupakan gambaran bagian permukaan bumi sebagaimana terlihat dari ruang angkasa (satelit) atau dari udara (pesawat terbang) (Prahasta, 2008).

Pemanfaatan teknik penginderaan jauh telah banyak digunakan diantaranya oleh Somantri (2008) dengan memanfaatkan teknik penginderaan jauh untuk mengidentifikasi kerentanan dan risiko banjir dengan pemetaan daerah banjir. Pemetaan daerah yang rentan terhadap banjir dalam penelitian ini menggunakan pendekatan geomorfologi (bentuk lahan). Adapun bentuk lahan yang merupakan indikator sering dilanda banjir adalah dataran banjir, teras marin, dan rawa. Penelitian oleh Arifin dan Kasim (2012) untuk memetakan zonasi daerah tingkat kerawanan banjir Kota Gorontalo Propinsi Gorontalo menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG). Hasil penelitian tersebut berupa zona rawan tinggi banjir, zona rawan rendah banjir, dan zona tidak rawan banjir. Kemudian Nurdin dan Suprayogi (2015) melakukan penelitian dengan judul Pemetaan Kawasan Rentan Banjir dalam Kota Pekanbaru menggunakan Perangkat Sistem Informasi Geografis. Hasil yang didapatkan yaitu wilayah kerawanan banjir dari *overlay* antar peta diurut dari tingkat kerawanan sangat rawan banjir, rawan banjir, kurang rawan banjir, dan tidak rawan banjir. Penelitian lain dilakukan oleh Yulianto, *et al* (2012) dengan judul Pemanfaatan Penginderaan Jauh SAR untuk mendukung *Quick Response* dan *Rapid Mapping* Bencana (Studi Kasus: Deteksi Banjir Karawang, Jawa Barat) dengan tujuan memanfaatkan data ALOS PALSAR untuk mendeteksi daerah banjir. Hasil pengolahan data PALSAR pre- dan post- banjir menghasilkan deteksi perubahan banjir (*flood change detection*) dengan kelas banjir dan non banjir. Sehingga dapat disimpulkan dari keempat penelitian di atas merupakan teknik penginderaan jauh yang menggunakan metode pemetaan dengan pembagian kelas-kelas tertentu.

Berdasarkan penjelasan di atas yaitu memetakan lokasi yang terkena banjir dengan memanfaatkan penginderaan jauh, maka penelitian ini juga melakukan hal yang sama untuk pengkelasan berbeda. Penelitian ini menggunakan data radar dari satelit sentinel 1A. Data yang diambil merupakan data sebelum dan sesudah banjir. Kedua data diolah melalui tahap pengkoreksian radiometrik, *speckle filtering*, dan koreksi geometrik untuk menghasilkan sebuah citra. Selanjutnya citra tersebut akan diklasifikasikan berdasarkan empat kelas tertentu untuk memudahkan pengamatan. Kelas-kelas yang ditentukan yaitu pemukiman banjir, pemukiman tidak banjir, non pemukiman banjir, dan non pemukiman tidak banjir.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana hasil pemetaan kawasan banjir berdasarkan metode penginderaan jauh dengan data radar ?

1.3 Batasan Masalah

1. Lokasi penelitian hanya di Kota Bekasi.
2. Data yang digunakan adalah data radar Sentinel 1A tahun 2017.
3. Kelas yang digunakan hanya meliputi pemukiman banjir, pemukiman tidak banjir, non pemukiman banjir, dan non pemukiman tidak banjir.

1.4 Tujuan

Berdasarkan permasalahan tersebut maka tujuan dari penelitian adalah melakukan pemetaan kawasan banjir berdasarkan metode penginderaan jauh dengan data radar.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memiliki manfaat untuk pemerintah, masyarakat sekitar serta bagi peneliti sendiri. Bagi pemerintah, penelitian ini dapat dijadikan sebagai informasi dalam melakukan mitigasi bencana banjir. Kemudian kawasan yang rawan terkena banjir dapat diberi perhatian oleh Pemerintah Kota Bekasi dalam upaya penanggulangan. Sedangkan untuk

masyarakat sekitar diharapkan adanya kesadaran untuk menjaga lingkungan dan berpartisipasi untuk memelihara kelestarian ekosistem DAS. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya khususnya dalam bidang penginderaan jauh dalam kasus bencana alam banjir. Selanjutnya untuk peneliti sendiri, tulisan ini dapat menambah wawasan bahwa daerah yang terkena banjir itu sebenarnya dapat diketahui melalui proses pengolahan data satelit menggunakan penginderaan jauh



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kota Bekasi

Batas wilayah administratif kabupaten Bekasi adalah sebelah utara, Laut Jawa; sebelah selatan, Kabupaten Bogor; sebelah barat, Kota Jakarta Utara; sebelah Timur, Kabupaten Karawang. Topografinya terbagi atas dua bagian yaitu dataran rendah yang meliputi sebagian wilayah bagian utara dan dataran bergelombang di wilayah selatan. Ketinggian antara 6 - 115 meter dan kemiringan 0 - 25°. Suhu udara yang terdapat di Kabupaten Bekasi berkisar antara 28° - 32°C. Curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Januari (Pradipta, 2008). Wilayah yang akan dijadikan penelitian meliputi beberapa kelurahan yang ada di kecamatan bekasi barat, bekasi timur, bekasi selatan, bekasi utara, pondok gede, dan jati asih. Tiap tahunnya, wilayah tersebut selalu terkena dampak banjir akibat meluapnya beberapa sungai di Kota Bekasi seperti Sungai Cikeas, Sungai Cileungsi, dan Sungai Bekasi. Selain itu, kondisi topografi Kota Bekasi yang relatif rendah dan kondisi geomorfologi wilayahnya yang merupakan dataran juga menjadi penyebab utama banjir.

2.2 Banjir

2.2.1 Bencana Banjir

Aqli, *et al* (2003) menyatakan bahwa bencana adalah suatu peristiwa yang disebabkan oleh alam maupun disebabkan manusia atau keduanya yang mengakibatkan korban dan penderitaan manusia, kerugian harta benda, kerusakan lingkungan, kerusakan sarana, prasarana, dan fasilitas umum, serta menimbulkan gangguan terhadap tata kehidupan dan penghidupan masyarakat. Ada dua lingkup bencana yaitu bencana alamiah seperti letusan gunung api, gempa bumi, tanah longsor, banjir, kekeringan, angin rebut dan gelombang pasang. Lingkup bencana kedua yaitu bencana karena ulah manusia seperti kebakaran, kecelakaan di pabrik, kecelakaan massal di daratan, laut, dan udara.

2.2.2 Pengertian Banjir

Menurut Schwab, *et al* (1981) banjir adalah luapan atau genangan dari sungai atau badan air lainnya yang disebabkan oleh curah hujan yang berlebihan atau dapat pula karena gelombang pasang yang membanjiri kebanyakan pada dataran banjir. Menurut Hewlett (1982) banjir adalah aliran atau genangan air yang menimbulkan kerugian ekonomi bahkan menyebabkan kehilangan jiwa. Istilah teknis banjir adalah aliran air sungai yang mengalir melampaui kapasitas tampung sungai. Dengan demikian, aliran air sungai tersebut akan melewati tebing sungai dan menggenangi daerah disekitarnya. Menurut Yayasan Lembaga Bencana Alam Indonesia (1989), banjir merupakan kelebihan air dan naik ke permukaan tanah serta terjadi luapan air yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem. Berdasarkan asal usulnya, banjir dapat digolongkan menjadi 2 bagian yaitu :

1. Banjir pegunungan, suatu banjir lahar dari timbunan debu, pasir, lumpur yang berasal dari gunung berapi maupun bawaan dari tanah longsor akibat kerusakan ekosistem daerah pegunungan antara lain penggundulan hutan yang tidak berencana, penebangan liar dan lain-lain.
2. Banjir dataran rendah, suatu banjir yang terjadi di daerah hilir akibat air yang berlebih dari daerah hulu, akibat curah hujan yang tinggi dan berkepanjangan dan air tersebut meluap ke permukaan tanah dan merusak lingkungan.

Pada umumnya keadaan ini dicirikan dengan suatu kenampakan dimana air meluap ke daerah sekitar aliran sungai. Genangan air ini merusak bangunan-bangunan, pemukiman, prasarana fisik, jaringan irigasi, lahan pertanian, komunikasi serta keadaan ekonomi masyarakat setempat.

2.2.3 Jenis Banjir

Banjir tidak sama dengan genangan (*inundation*), karena tidak semua genangan disebabkan oleh meluapnya air sungai dan saluran, misalnya genangan di atas ruas jalan yang cekung. Menurut Ditjen Pengairan Departemen Pekerjaan Umum (1992) terdapat 2 jenis banjir:

1. Banjir genangan, yang disebabkan oleh hujan yang turun di atas permukaan tanah yang landai dan datar.
2. Banjir luapan sungai, yang disebabkan oleh luapan sungai-sungai yang airnya meluap keluar karena daya tampungnya terlampaui.

2.2.4 Daerah Rawan Banjir

Data penginderaan jauh mempunyai potensi yang sangat baik untuk pemetaan distribusi banjir. Kerawanan banjir adalah keadaan yang menggambarkan mudah atau tidaknya suatu daerah terkena banjir. Faktor-faktor yang mendasari timbulnya banjir berasal dari alam antara lain faktor meteorologi (intensitas curah hujan, distribusi curah hujan, frekuensi dan lamanya hujan berlangsung). Selain itu karakteristik daerah aliran sungai (kemiringan lahan/kelerengan, ketinggian lahan dan tekstur tanah) juga menjadi salah satu penyebabnya (Suherlan, 2001).

2.2.5 Curah Hujan

Kejadian banjir yang biasa terjadi di Indonesia lebih disebabkan karena faktor curah hujan yang lebat. Curah hujan merupakan salah satu unsur cuaca yang memiliki keragaman. Keragaman curah hujan terjadi secara lokal di suatu tempat yang disebabkan oleh adanya perbedaan kondisi topografi, seperti adanya bukit, gunung, atau pegunungan yang menyebabkan hujan terjadi dengan tidak merata (Asdak, 1995). Intensitas hujan adalah banyaknya curah hujan persatuan jangka waktu tertentu. Apabila dikatakan intensitasnya tinggi berarti hujan lebat dan kondisi ini sangat berbahaya karena berdampak dapat menimbulkan banjir. Oleh karena itu, klasifikasi iklim untuk wilayah Indonesia (Asia Tenggara umumnya) seluruhnya dikembangkan dengan menggunakan curah hujan sebagai kriteria utama (Lakitan, 2002).

2.2.6 Karakteristik dan Dampak Banjir

Seperti peristiwa-peristiwa alam lainnya, bencana alam banjir juga mempunyai karakteristik tertentu (Gunanto, 1996), yakni:

1. Datangnya sedikit demi sedikit sebelum airnya terakumulasi menjadi besar yang kemudian membawa kerusakan.
2. Arusnya dapat deras dan cepat apabila curah hujan langsung menuju kepada satu alur sungai yang besar, dan dapat juga lambat apabila curah hujan menuju pada beberapa alur sungai kecil-kecil terlebih dahulu, sebelum terkumpul kedalam satu sungai besar.
3. Datang pada musim-musim tertentu, biasanya pada musim penghujan misalnya pada bulan Desember sampai Januari. Akan tetapi banjir juga dapat datang pada musim kemarau apabila penyebabnya adalah pasang air laut.
4. Hal yang menimbulkan kerusakan adalah daya genangan airnya dan barang-barang hanyutan yang dibawa air.

Banjir merupakan peristiwa alam yang dikategorikan sebagai suatu bencana dan menimbulkan masalah apabila akibatnya mulai merugikan manusia.

Kerugian tersebut biasanya berupa (Santoso, 1993):

1. Rusaknya lahan dan produksi pertanian serta peternakan sehingga dapat menghilangkan penghasilan seseorang atau masyarakat secara tetap atau sementara waktu.
2. Rusaknya rumah-rumah penduduk sehingga mengakibatkan seseorang atau masyarakat kehilangan tempat tinggal.
3. Rusaknya bangunan dan sarana umum, misalnya jalan sehingga mengganggu mobilitas sosial penduduk.
4. Rusaknya sarana industri sehingga mengganggu kelangsungan seseorang atau masyarakat untuk bekerja dalam rangka mencari nafkah.
5. Gangguan kejiwaan berupa rasa sedih dan frustrasi akibat adanya banjir yang memporak-porandakan lingkungannya.
6. Kehilangan harta benda karena dibawa hanyut oleh air.
7. Pada beberapa kasus kejadian hingga merenggut jiwa manusia.

2.3 Penginderaan Jauh

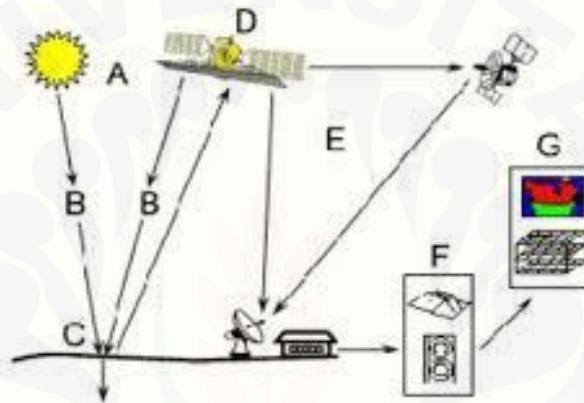
2.3.1 Pengertian Penginderaan Jauh

Teknologi pemotretan udara mulai diperkenalkan pada akhir abad ke 19, selanjutnya dikembangkan menjadi teknologi penginderaan jauh atau *remote sensing*. Ada beberapa istilah dalam bahasa asing yang sering digunakan untuk penginderaan jauh. Reeves, *et al* (1975) mengutarakan istilah '*remote sensing*' (Inggris), '*teledetection*' (Perancis), '*fennerkundung*' (Jerman), '*sensoriamentoremota*' (Spanyol). Berikut ini beberapa definisi mengenai penginderaan jauh:

1. Penginderaan jauh adalah ilmu atau seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah, atau gejala dengan cara menganalisis data yang diperoleh atau gejala yang akan dikaji (Lillesand & Kiefer, 1990).
2. Penginderaan jauh merupakan teknik yang dikembangkan untuk memperoleh dan menganalisis tentang bumi. Informasi ini berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh permukaan bumi (Lindgren, 1985).
3. Kusumowidagdo, *et al* (2008) menjelaskan penginderaan jauh memiliki komponen-komponen tertentu yang merupakan satu kesatuan. Komponen-komponen tersebut ada tujuh meliputi sumber tenaga, atmosfer, objek, sensor dengan wahana, pengolah data, interpretasi/analisis, dan pengguna (*user*).
4. Penginderaan jauh dapat disebut sebagai seni atau ilmu karena perolehan informasi secara tidak langsung dilakukan menggunakan metode matematis dan statistik berdasarkan algoritma tertentu (ilmu), dan proses interpretasi terhadap citra tidak hanya berdasar pada ilmu namun juga pengalaman dan kemampuan menangkap kesan dari kenampakan objek pada citra (seni) (Jensen, 2000).
5. Menurut Campbell (1987) bahwa penginderaan jauh (*remote sensing*) yaitu ilmu untuk mendapatkan informasi mengenai permukaan bumi seperti lahan air dari citra yang diperoleh dari jarak jauh. Hal ini biasanya berhubungan dengan pengukuran pantulan atau pancaran gelombang elektromagnetik dari suatu objek.

2.3.2 Proses Penginderaan Jauh

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang kejadiannya termasuk dalam pantauan penginderaan jauh. Sensor yang dipasang jauh dari obyek yang diindera memerlukan tenaga yang dipancarkan atau dipantulkan oleh obyek tersebut supaya keduanya saling terjadi interaksi. Tiap obyek mempunyai sikap atau karakteristik tersendiri di dalam interaksinya terhadap tenaga, misalnya air menyerap sinar banyak dan hanya memantulkan sinar sedikit. Hasil interaksi antara tenaga dengan obyek direkam oleh sensor (Lillesand dan Kiefer, 1979).



Gambar 2.1 Proses Penginderaan Jauh (Sumber: Abidin, *et al* 2001)

Keterangan:

A = sumber energi

B = energi melewati atmosfer

C = obyek permukaan

D = sensor dan wahana

E = *ground station*

F = analisis

G = aplikasi

Sumber pencahayaan (A) merupakan kebutuhan dasar dalam penginderaan jauh untuk menyediakan energi elektromagnetik pada sasaran pengamatan. Pada instrumen pasif sumber energi umumnya adalah matahari, sedangkan instrumen aktif sensor memancarkan sendiri pulsa energinya. Pada saat energi tersebut bergerak dari sumber menuju sasaran, akan terjadi interaksi dengan atmosfer (B).

Interaksi ini terjadi dua kali karena setelah itu energi bergerak dari sasaran menuju sensor sehingga terjadi hamburan atmosferik pada radiasi energi. Saat mengenai sasaran (C), energi tersebut berinteraksi dengan obyek sasaran bergantung pada sifat-sifat obyek dan energi radiasinya. Setelah energi dihamburkan atau dipancarkan obyek sasaran, suatu sensor akan mengumpulkan dan merekam radiasi elektromagnetiknya (D) dari jarak jauh, tanpa terjadi kontak dengan obyek sasaran. Setelah direkam oleh sensor, informasi akan dikirimkan menuju stasiun penerima dan pengolah (E) untuk diolah menjadi citra digital maupun *hardcopy*, citra tersebut selanjutnya diinterpretasikan secara visual maupun digital (F) untuk mengekstraksi informasi pada obyek sasaran. Tahap akhir dari penginderaan jauh adalah menerapkan informasi yang didapatkan (G) untuk mencari informasi baru atau untuk membantu dalam menyelesaikan suatu permasalahan (Abidin, *et al* 2001).

Pengolahan citra digital dapat dikelompokkan dalam tiga prosedur operasional yaitu pra-pengolahan data mencakup rektifikasi (pembetulan) dan restorasi (pemugaran atau pemulihan) citra, pembuatan citra komposit dan penajaman citra, serta yang terakhir klasifikasi citra (Purwadhi, 2001). Penajaman citra adalah algoritma yang diterapkan pada data penginderaan jauh untuk menghasilkan kenampakan citra yang memudahkan bagi penerapan analisa visual atau proses selanjutnya (Jensen, 1986). Citra dapat diimplementasikan dalam dua bentuk yaitu analog dan digital. Salah satu bentuk citra analog adalah foto udara atau peta foto (*hardcopy*), sedangkan satelit yang merupakan data hasil rekaman sistem sensor merupakan bentuk citra digital. Klasifikasi citra digital digunakan untuk mengetahui tingkat hubungan menggunakan pengelompokkan dengan karakteristik yang sama, untuk tujuan membedakan obyek satu dengan yang lain dalam citra (Danoedoro, 1996).

2.3.3 Interpretasi Citra

Interpretasi citra adalah proses pengkajian citra melalui proses identifikasi dan penilaian mengenai obyek yang tampak pada citra. Dengan kata lain, interpretasi citra merupakan suatu proses pengenalan obyek yang berupa gambar

(citra) untuk digunakan dalam ilmu tertentu seperti Geologi, Geografi, Ekologi, Geodesi dan ilmu lainnya. Tahapan yang diperlukan dalam pengenalan obyek yang tergambar pada citra, yaitu:

1. Deteksi yaitu pengenalan obyek yang mempunyai karakteristik tertentu oleh sensor.
2. Identifikasi yaitu mencirikan obyek dengan menggunakan data rujukan.
3. Analisis yaitu mengumpulkan keterangan lebih lanjut secara terperinci.

Pengenalan obyek merupakan bagian penting dalam interpretasi citra. Untuk itu, identitas dan jenis obyek pada citra sangat diperlukan dalam analisis pemecahan masalah. Karakteristik obyek pada citra dapat digunakan untuk mengenali obyek yang dimaksud dengan unsur interpretasi. Menurut Lillesand & Kiefer (1990), unsur interpretasi yang dimaksud dalam hal ini adalah:

1. Rona dan Warna

Rona dan warna merupakan unsur pengenal utama atau primer terhadap suatu obyek pada citra penginderaan jauh. Rona ialah tingkat kegelapan atau tingkat kecerahan obyek pada citra, sedangkan warna ialah wujud yang tampak oleh mata dengan menggunakan spektrum sempit, lebih sempit dari spektrum tampak.

2. Bentuk

Bentuk merupakan variabel kualitatif yang memberikan konfigurasi atau kerangka suatu obyek sebagaimana terekam pada citra penginderaan jauh.

3. Ukuran

Ukuran merupakan ciri obyek yang antara lain berupa jarak, luas, tinggi lereng dan volume. Ukuran obyek citra berupa skala.

4. Tekstur

Tekstur adalah frekuensi perubahan rona pada citra. Tekstur dinyatakan dengan kasar atau halus.

5. Pola

Pola atau susunan keruangan merupakan ciri yang menandai bagi banyak obyek bentukan manusia dan beberapa obyek alamiah.

6. Bayangan

Bayangan sering menjadi kunci pengenalan yang penting bagi beberapa obyek dengan karakteristik tertentu.

7. Situs

Situs adalah letak suatu obyek terhadap obyek lain disekitarnya. Situs bukan ciri obyek secara langsung, tetapi kaitannya dengan faktor lingkungan.

8. Asosiasi

Asosiasi merupakan keterkaitan antara obyek satu dengan obyek yang lain karena adanya keterkaitan ini maka terlihatnya suatu obyek pada citra sering merupakan petunjuk adanya obyek lain.

2.3.4 Citra Komposit Warna

Citra komposit adalah penggabungan beberapa data penginderaan jauh sehingga dihasilkan citra baru dengan kandungan informasi terintegrasi melalui proses penggabungan warna dari saluran-saluran (*channel*) data penginderaan jauh yang dikompositkan. Pembuatan citra komposit berguna untuk memperbaiki tampilan visual citra agar lebih mudah diinterpretasi kenampakan obyeknya. Beberapa cara yang biasa dipakai untuk melihat tampilan citra yaitu *Red*, *Green* dan *Blue* (RGB) sebagai tampilan komposisi warna. Pada *software ENVI 5.2* pemilihan warna untuk tampilan data raster dinamakan "*colour mapping*". (Prasetyo, 2011).

2.3.5 Klasifikasi Citra

Klasifikasi digital pada suatu citra adalah suatu proses dimana piksel-piksel dengan karakteristik spektral yang sama diasumsikan sebagai kelas yang sama, diidentifikasi dan ditetapkan dalam suatu warna. Klasifikasi citra terbagi dalam dua teknik yaitu *supervised classification* dan *unsupervised classification*. Menurut Danoedoro (1996) *supervised classification* melibatkan interaksi analisis secara intensif dengan identifikasi obyek pada citra (*training area*). Sehingga pengambilan sampel perlu dilakukan dengan mempertimbangkan pola spektral pada setiap panjang gelombang tertentu. Sehingga diperoleh acuan yang baik

untuk mewakili suatu obyek tertentu. Sedangkan *unsupervised classification* merupakan pengklasifikasian dimana hasil akhirnya berupa pengelompokkan piksel-piksel dengan karakteristik umum yang didasarkan pada analisis perangkat lunak (*software analysis*) suatu citra tanpa pengguna menyediakan contoh-contoh kelas-kelas terlebih dahulu.

2.3.6 Sensor

Tenaga yang datang dari obyek di permukaan bumi diterima dan direkam oleh sensor. Tiap sensor mempunyai kepekaan tersendiri terhadap bagian spektrum elektromagnetik. Selain itu, kepekaannya berbeda dalam merekam obyek terkecil yang masih dapat dikenali dan dibedakan terhadap obyek lain atau terhadap lingkungan sekitarnya. Kemampuan suatu sistem optik-elektronik untuk membedakan informasi yang secara spasial berdekatan atau secara spektral mempunyai kemiripan disebut resolusi. Semakin kecil obyek yang direkam dapat dibedakan oleh sensor maka semakin baik resolusi sensornya. Jenis dan karakteristik sensor dapat ditunjukkan pada tabel 2.1 (Swain dan Davis, 1978).

Tabel 2.1 Jenis sensor dan sifatnya

| Spektrum dan sistem sensor | Panjang gelombang (μm) | Kemampuan mengatasi kendala cuaca | Saat penginderaan |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|---|
| ULTRAVIOLET = <i>Optical mechanical scanner</i> = <i>Image orthicon</i> = Kamera dengan film Inframerah | 0,01-0,4 | - | Siang |
| TAMPAK = Kamera konvensional = <i>Multispectral scanner</i> = <i>Vidicon</i> | 0,4-0,7 | Kt | Siang kecuali bila digunakan penyinaran aktif siang |
| INFRAMERAH PANTULAN = Kamera konvensional dengan film inframerah = <i>Solis state detector</i> dalam <i>scanner</i> = Radiometer | 0,7-1,5 | C | Siang |

| Spektrum dan sistem sensor | Panjang gelombang (μm) | Kemampuan mengatasi kendala cuaca | Saat penginderaan |
|--|--|-----------------------------------|-------------------|
| INFRAMERAH TERMAL = <i>Solid state detector</i> dalam <i>scanner</i> dan radiometer = Quantum detector | 3,5-30,0 | Kt, As | siang-malam |
| GELOMBANG MIKRO = <i>Scanner</i> dan radiometer = Antena dan circuit | 10^3 - 10^6 | Kt, As, K | siang-malam |
| RADAR = <i>Scanner</i> dan radiometer = Antena dan circuit | $8,3 \times 10^3$ $1,3 \times 10^6$ | Kt, As, K H# | siang-malam |

Sumber: Estes (1974)

Keterangan :

Kt = kabut tipis

C = campuran asap dan kabut

As = asap

K = kabut / awan

H = hujan

= kemampuan menembus hujan membesar pada gelombang yang semakin panjang

2.3.7 Data Citra Radar

Radar merupakan singkatan dari *radio detection and ranging* yang berarti mendeteksi dan menentukan jarak objek berdasarkan gelombang radio. Menurut Sabins (1978) bahwa radar merupakan sistem penginderaan jauh aktif karena memiliki sumber energi sendiri yang dibangkitkan dari sensor yang menyinari permukaan bumi dengan energi elektromagnetik, mendeteksi besarnya energi yang dipantulkan kembali oleh objek, dan direkam sebagai sebuah citra. Penginderaan jauh menggunakan radar merupakan pencitraan dengan memancarkan radiasi gelombang radar ke obyek di permukaan bumi. Citra dari permukaan bumi dibentuk oleh pantulan atau hamburan energi gelombang radar dari permukaan baik daratan maupun lautan dan sinyal gelombang dikembalikan lagi ke sensor. Kelebihan dari pencitraan ini adalah dapat dilakukan dalam kondisi siang ataupun malam hari. Selain itu gelombang yang dipancarkan dapat menembus awan, pepohonan serta perairan dangkal tergantung dari jenis *band* yang digunakan. Besar kecilnya panjang gelombang yang digunakan berpengaruh

pada citra yang diperoleh. Semakin besar panjang gelombangnya maka semakin kuat daya tembus gelombangnya. Sistem pencitraan radar bisa menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi dari permukaan bumi (Kusman, 2008).

Menurut Bahar (2007) bahwa beberapa kelebihan radar yaitu:

- Mampu mendeteksi objek dari jarak yang jauh dengan cepat dan akurat.
- Dioperasikan dalam segala cuaca dan kondisi, seperti: berkabut, hujan, asap.
- Dapat mengukur kecepatan suatu target.

Selain kelebihan, radar juga memiliki beberapa kekurangan, seperti:

- Kinerjanya masih dipengaruhi oleh komponen-komponennya.
- Kinerjanya juga dipengaruhi oleh operator yang mengoperasikannya. Terutama dalam sistem radar aktif.

Radar mengukur nilai rasio antar kekuatan pulsa yang ditransmisikan dan yang dipantulkan kembali oleh obyek. Rasio antara hamburan dan tenaga insiden disebut sebagai hamburan balik (*backscatter*) yang mana koefisiennya dihitung dengan normalisasi hamburan balik pada area standard. Area tersebut dinyatakan pada 3 bidang yaitu bidang slant range (*beta nought*), pada permukaan tanah atau on the ground (*sigma nought*), atau pada bidang tegak lurus arah *slant range* (*gamma nought*) (Small dan Meier, 2013). Pada penelitian ini koefisien hamburan balik yang digunakan ialah koefisien *sigma nought* dalam satuan desibel (dB).

Salah satu data satelit penginderaan jauh sistem aktif ialah data SAR (*Synthetic Aperture Radar*) Sentinel-1 milik ESA (*European Space Agency*) yang mana salah satu pemanfaatannya memiliki peran dalam pemetaan kawasan bencana. Sensor yang dibawa Sentinel-1 bersifat aktif dengan gelombang mikro. Sehingga memiliki keunggulan dibanding sistem optik yaitu dapat menembus awan dan tidak terganggu oleh cuaca serta dapat mengindera baik siang maupun malam (Centre for Space Science & Technology Education in Asia and the Pacific, 2014).

Penelitian mengenai pemetaan ini perlu menggunakan resolusi temporal untuk pengambilan data yang berdampak banjir di kawasan Kota Bekasi. Sensor akan mengambil kejadian banjir pada daerah yang sama dalam rentan waktu ± 12 hari hingga banjir surut. Resolusi temporal ialah kemampuan suatu sistem untuk

merekam ulang daerah yang sama. Satuan dari resolusi temporal yaitu jam atau hari (Danoedoro, 2012).

2.3.8 Pengolahan Citra Radar

1. Hamburan Balik (*Backscattering*)

Parameter yang didapat dari citra SAR ialah koefisien *Radar Backscattering* (σ° -sigma nol). Nilai σ° merupakan besarnya energi elektromagnetik yang dipantulkan kembali oleh sebuah piksel menuju sensor radar (Leberl, 1990). Nilai σ° menyatakan rasio antara energi sinyal pantulan dengan energi sinyal yang dipancarkan oleh sensor dan mempunyai satuan desibel (dB).

2. Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik merupakan tahap awal pengolahan data. Koreksi radiometrik dilakukan untuk memperbaiki nilai piksel supaya pengaruh dari gangguan atmosfer dapat diminimalisir. Sehingga nilai pantulannya mendekati nilai pantulan obyek yang sebenarnya (Hedley, *et al* 2005).

3. *Speckle* pada Citra Radar

Sensor radar merekam berbagai macam gelombang pantul dari berbagai obyek permukaan bumi. Efek *speckle* atau bintik dari nilai piksel yang terlalu tinggi atau terlalu rendah pada citra SAR akan mengganggu hamburan balik sinyal radar. Hal ini menimbulkan bintik-bintik hitam atau kelabu (*speckle*) pada citra radar. *Speckle* dalam jumlah besar dapat menyebabkan citra radar menjadi tidak jelas. Sehingga proses *filtering* perlu dilakukan pada citra radar untuk mengurangi efek tersebut (Veci, 2015).

4. Koreksi Geometrik

Kesalahan geometrik citra dapat terjadi karena posisi dan orbit maupun cara sensor pada saat satelit mengindera bumi, kelengkungan dan putaran bumi yang diindera. Akibat dari kesalahan geometrik ini maka posisi piksel dari data

inderaja satelit tersebut tidak sesuai dengan posisi (lintang dan bujur) yang sebenarnya. Menurut Mather (1987) koreksi geometrik adalah transformasi citra hasil penginderaan jauh sehingga citra tersebut mempunyai sifat-sifat peta dalam bentuk, skala, dan proyeksi. Transformasi geometrik yang paling mendasar adalah penempatan kembali posisi piksel sedemikian rupa. Sehingga pada citra digital yang tertransformasi dapat dilihat gambaran obyek dipermukaan bumi yang terekam sensor. Pengubahan bentuk kerangka liputan dari bujur sangkar menjadi jajaran genjang merupakan hasil transformasi ini.

2.3.9 Dasar Fisika Penginderaan Jauh

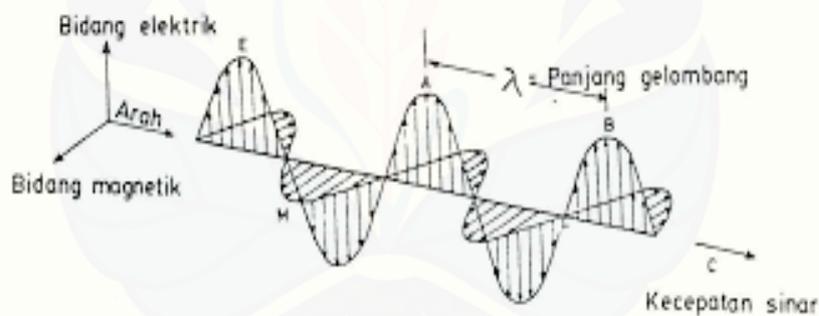
1. Gelombang Elektromagnetik

Dalam penginderaan jauh harus ada sumber tenaga, baik sumber tenaga alamiah maupun sumber tenaga buatan. Sumber tenaga alamiah digunakan dalam penginderaan jauh sistem pasif, sedangkan sumber tenaga buatan digunakan dalam penginderaan jauh sistem aktif. Disebut sistem penginderaan jauh aktif karena sensor mengeluarkan tenaga saat hendak merekam objek berupa tenaga elektromagnetik juga. Kemudian dapat disimpulkan bahwa sistem aktif ini dapat merekam obyek pada malam hari karena tidak memerlukan sinar matahari. Penginderaan jauh aktif memanfaatkan radiasi elektromagnetik yang dihasilkan sensor itu sendiri (Lo, 1996). Tenaga ini mengenai obyek di permukaan bumi yang kemudian dipantulkan ke sensor. Tetapi dapat juga berupa tenaga dari obyek yang dipancarkan ke sensor. Semakin banyak tenaga yang diterima oleh sensor akan semakin cerah wujud obyeknya pada citra.

Tenaga yang dimaksudkan adalah tenaga elektromagnetik dimana sumber utama tenaga elektromagnetiknya yaitu matahari. Tenaga elektromagnetik tidak tampak oleh mata yang hanya tampak apabila berinteraksi dengan benda. Sinar hanya tampak bila mengenai debu, uap air, atau benda lain di atmosfer maupun di permukaan bumi. Definisi tenaga elektromagnetik menurut (Chanlett, 1979) bahwa tenaga elektromagnetik ialah paket elektrisitas dan magnetisme yang bergerak dengan kecepatan sinar pada frekuensi dan panjang gelombang tertentu dengan sejumlah tenaga tertentu. Panjang gelombang ialah jarak lurus dari puncak

gelombang yang satu ke puncak gelombang lain yang terdekat yakni jarak AB. Frekuensi ialah jumlah siklus gelombang yang melalui satu titik dalam satu detik, dinyatakan dalam hertz atau sering disebut Hz. Panjang gelombang lebih banyak digunakan dalam penginderaan jauh, sedangkan frekuensi lebih banyak digunakan dalam teknologi radio. Jenis data penginderaan jauh yang menggunakan sistem ini disebut citra radar, beberapa diantaranya menggunakan wahana satelit ialah: Radar, Almaz, ERS, JERS, ALOS, PALSAR, SRTM, Envisat, termasuk Sentinel 1A yang merupakan data radar yang digunakan dalam penelitian ini.

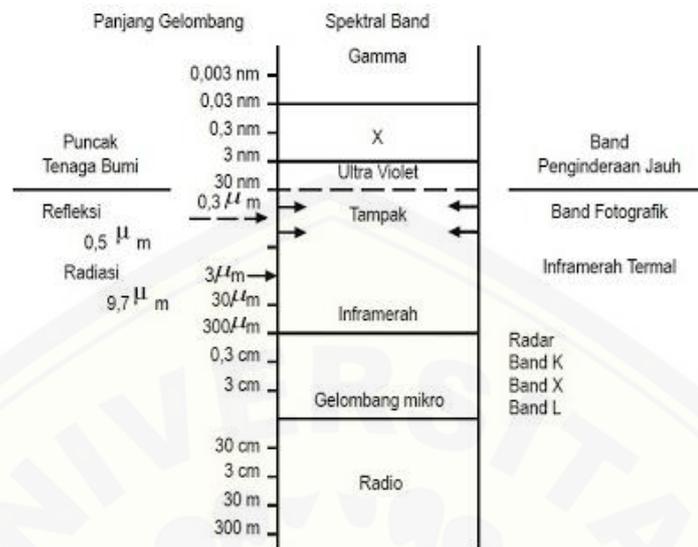
Matahari memancarkan tenaga elektromagnetik ke segala arah, sebagian dari padanya mencapai bumi. Perjalanannya berlangsung dengan cara radiasi melalui atmosfer maupun ruang hampa udara/antariiksa. Jadi bukan berlangsung dengan cara konveksi seperti proses panas pada air mendidih, bukan dengan cara konduksi seperti proses panas pada benda padat, bukan pula dengan cara transmisi seperti proses arus listrik melalui kabel atau benda pengantar lainnya.



Gambar 2.2 Gelombang elektromagnetik (Sumber: Lillesand & Kiefer, 1979)

Radiasi tenaga elektromagnetik berlangsung dengan kecepatan tetap dan dengan pola gelombang yang harmonik. Pola gelombangnya dikatakan harmonik karena komponen-komponen gelombangnya teratur secara sama. Disamping itu pada tiap bagian tenaga elektromagnetik ini terjalin hubungan yang serasi antara panjang gelombang dengan frekuensinya yakni dengan hubungan yang berkebalikan (Sabins, 1978).

2. Spektrum Elektromagnetik

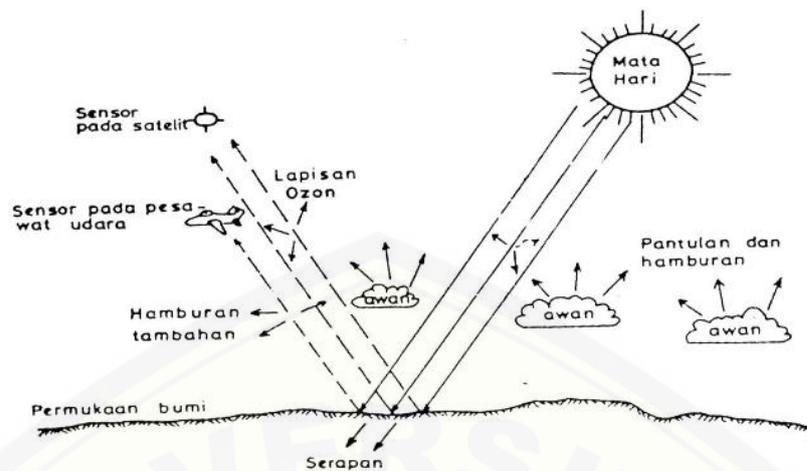


Gambar 2.3 Spektrum elektromagnetik dan saluran yang digunakan dalam penginderaan jauh (Sumber: Sabins,1978)

Tenaga elektromagnetik terdiri dari berkas atau spektrum yang sangat luas, yakni meliputi spektra kosmik, Gamma X, ultraviolet, tampak, inframerah, gelombang mikro (*microwave*), dan radio. Jumlah total seluruh spektrum ini disebut spektrum elektromagnetik. Istilah spektrum digunakan untuk menunjukkan bagian tertentu spektrum elektromagnetik seperti spektrum tampak, spektrum inframerah, dan spektrum ultraviolet. Saluran atau pita (*channel, band*) digunakan untuk bagian yang lebih kecil, misalnya saluran biru, saluran hijau, dan saluran merah pada spektrum tampak (Beckman, 1975).

3. Jendela Atmosfer

Tenaga elektromagnetik dalam perambatannya tidak dapat mencapai permukaan bumi secara utuh karena sebagiannya mengalami hambatan oleh atmosfer. Hambatan ini terutama disebabkan oleh butir-butir yang ada di atmosfer seperti debu, uap air, dan gas. Proses penghambatannya terjadi terutama dalam bentuk serapan, pantulan, dan hamburan seperti tampak pada gambar 2.4.



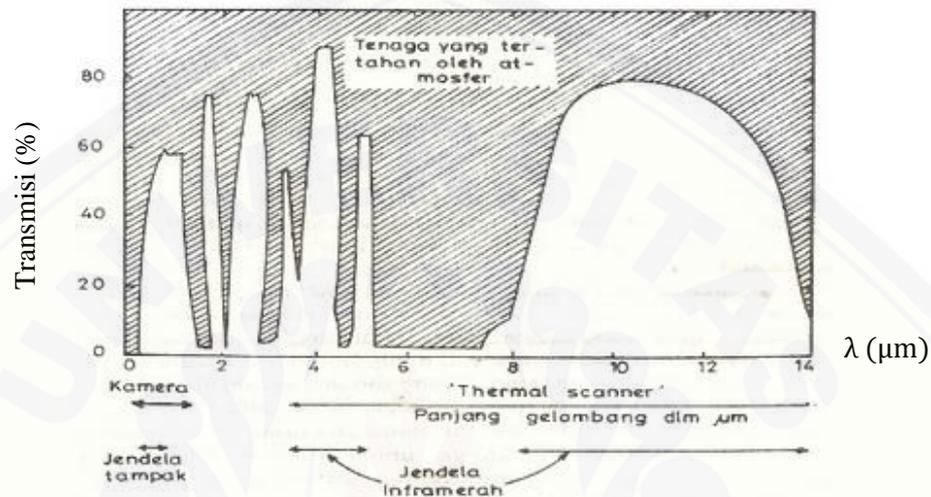
Gambar 2.4 Interaksi antara Tenaga Elektromagnetik dan Atmosfer (Sumber: Paine, 1981)

Hamburan ialah pantulan ke arah serba beda yang disebabkan oleh benda yang permukaannya kasar dan bentuknya tak menentu (Paine, 1981). Pantulan tersebut dapat mengarah ke berbagai arah bila tenaga yang mengenai obyek dihamburkan (Estes, 1974). Berbeda dengan hamburan, serapan oleh atmosfer merupakan gangguan yang lebih parah terhadap tenaga elektromagnetik. Serapan merupakan kendala utama bagi spektrum inframerah. Penyebabnya ialah uap air, karbon dioksida, dan ozon (Lillesand & Kiefer, 1979).

Bagian-bagian spektrum elektromagnetik yang dapat melalui atmosfer dan mencapai permukaan bumi disebut jendela atmosfer. Jendela atmosfer yang paling dulu dikenal orang dan banyak digunakan dalam penginderaan jauh sampai saat ini ialah spektrum tampak yang dibatasi oleh gelombang $0,4\mu\text{m}$ hingga $0,7\mu\text{m}$. Jendela atmosfer hingga panjang gelombang $14\mu\text{m}$ disajikan pada gambar 2.5 Jendela atmosfer semakin luas apabila dibandingkan antara spektrum tampak, spektrum inframerah termal, dan gelombang mikro. Pada spektrum tampak dan perluasannya, jendela atmosfer berkisar antara panjang gelombang $0,3\mu\text{m}$ hingga $0,9\mu\text{m}$ dengan selisih yaitu $0,6\mu\text{m}$. Panjang ini sebesar 10 kali pada panjang gelombang hingga $14\mu\text{m}$. Panjang jendela atmosfer pada spektrum gelombang mikro jauh lebih besar lagi (Lindgren, 1985).

Kamera khusus yang melakukan penginderaan jauh dapat menggunakan spektrum ultraviolet hingga panjang gelombang $0,3\mu\text{m}$. Jaraknya yang berdekatan

dengan spektrum tampak maka saluran ini disebut saluran ultraviolet dekat. Baik saluran inframerah maupun saluran ultraviolet merupakan perluasan spektrum tampak yang mulai dapat digunakan dalam penginderaan jauh sejak dikembangkannya kepekaan film dan kemampuan kamera. Jendela atmosfer yang lain hingga panjang gelombang $14\mu\text{m}$ ini terpancar pada bagian-bagian kecil.



Gambar 2.5 Jendela atmosfer hingga panjang gelombang $14\mu\text{m}$ (Sumber: Paine, 1981)

Jendela atmosfer yang relatif besar terletak disekitar panjang gelombang $4\mu\text{m}$, sedangkan yang terbesar terletak antara panjang gelombang $8\mu\text{m}$ - $14\mu\text{m}$. Dua jendela atmosfer itu termasuk spektrum inframerah termal. Sensornya dalam penginderaan jauh bukan lagi kamera. Pengenalan obyek di permukaan bumi bukan lagi berdasarkan atas beda pantulan, melainkan berdasarkan atas beda suhu dan daya pancarnya. Jendela atmosfer lain yang lebih besar yaitu spektrum gelombang mikro, yakni panjang gelombang $0,1\text{cm}$ hingga 100cm . Spektrum inilah yang digunakan dalam penginderaan jauh dengan sistem radar.

4. Teori Gelombang

Radiasi elektromagnetik merupakan salah satu tenaga dinamik yang tampak bila ia berinteraksi dengan benda. Radiasi elektromagnetik dapat berbentuk gelombang maupun dalam bentuk partikel. Newton (1642-1727) mengutarakan bahwa sinar merupakan aliran butir-butir kecil yang dipancarkan

oleh bahan yang bersinar. Pada saat yang bersamaan maka Huygens (1629-1695) melukiskan sinar sebagai suatu gerakan gelombang yang memancar dari suatu sumber ke segala arah. Pendapat ini didukung oleh Young pada tahun 1802 yang merupakan orang pertama saat mendemonstrasikan kerjasama antara gelombang sinar dan mengutarakan asas superposisi. Asas superposisi menyatakan bahwa bila ada dua gelombang atau lebih yang saling menyalang, akan dibuahkan paduan gelombang yang amplitudonya merupakan jumlah amplitudo masing-masing gelombang. Amplitudo yaitu jarak tegak antara lembah dan puncak satu gelombang. Berikut ini adalah hubungan antara kecepatan radiasi elektromagnetik, panjang gelombang dan frekuensinya:

$$c = \lambda f \quad (2.1)$$

Keterangan:

c = kecepatan radiasi elektromagnetik 3×10^8 (m/s)

λ = panjang gelombang (μm)

f = frekuensi (Hz)

(Serway & Jewett, 2010).

Kecepatan radiasi elektromagnetik bersifat tetap yaitu sebesar 3×10^8 m/s apabila melalui ruang hampa sedangkan melalui benda, kecepatannya berubah. Kecepatan yang tetap membuat frekuensi dan panjang gelombang selalu berbanding terbalik. Kecepatannya bergantung atas sifat benda dan frekuensi gelombangnya. Frekuensi gelombang tidak berubah pada saat radiasi memasuki benda maka panjang gelombang berubah karena kecepatannya berubah (Simonett, *et al* 1983).

Energi yang dikeluarkan sebuah gelombang elektromagnetik tergantung pada besar kecilnya frekuensi yang dimiliki. Gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang besar juga memiliki energi yang besar.

$$E = hf \quad (2.2)$$

Keterangan:

E = energi yang dipancarkan gelombang elektromagnetik (J)

h = tetapan Planck yang besarnya $6,62 \times 10^{-34}$ (J/s)

f = frekuensi (Hz)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini melakukan identifikasi kawasan daerah banjir menggunakan satelit data radar Sentinel 1A. Waktu penelitian ini mulai bulan November 2017 sampai Desember 2018. Data yang diambil yaitu kejadian banjir saat hujan turun dengan intensitas cukup tinggi sekitar bulan Januari sampai Februari tahun 2017. Metode pengambilan data yang dipakai adalah pemetaan daerah terdampak banjir berdasarkan data sentinel. Teknik yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan penginderaan jauh aktif. Alasan menggunakan penginderaan jauh aktif karena untuk memperoleh data ini sangat dipengaruhi oleh cuaca. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sensor yang dapat menembus awan dalam kondisi segala cuaca yaitu data radar. Selanjutnya pengolahan data diolah menggunakan *software Sentinel Application Platform (SNAP) 64-bit*, dan *ENVI 5.2*. Dengan demikian, analisis dan penyajian data banjir akan ditampilkan dalam bentuk pemetaan pada ArcGIS 10.3.

3.2 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kuantitatif. Data kuantitatif adalah sebuah informasi berupa data yang berbentuk angka atau bilangan. Data kuantitatif dalam penelitian merupakan nilai hamburan balik pada data sebelum dan sesudah banjir yang mengindikasikan perubahan *backscatter* pada kedua data. Nilai hamburan balik tersebut sudah didapatkan saat pengolahan sehingga yang ditampilkan hanya berupa citra atau foto berwarna hitam putih yang menampilkan obyek permukaan bumi. Sumber data yang digunakan dalam penelitian merupakan data satelit sentinel 1A yang dapat diakses pada website alaska (Rahayu, 2016).

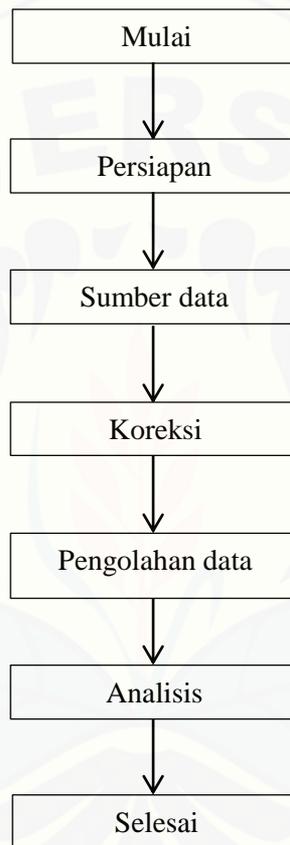
3.3 Operasional Variabel

Variabel penelitian ini memiliki 2 macam jenis variabel yaitu variabel terikat dan variabel bebas. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sumber data yang dipilih merupakan data radar sentinel 1A. Variabel terikat

pada penelitian ini yaitu data hasil olahan yang diperoleh dari data radar sebelum dan sesudah banjir.

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Kerangka pemecahan masalah dalam penelitian ini menjelaskan alur yang ditunjukkan oleh diagram alir pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Tahap Persiapan

Seperangkat komputer dengan kemampuan yang kompatibel dengan perangkat lunak pengolah citra harus sudah terinstall untuk *software SNAP 5.0, ENVI 5.2, dan Arc GIS 10.1*. Selanjutnya menentukan posisi koordinat lokasi penelitian untuk memperoleh data citra satelit yang sesuai. Setelah itu diperlukan cara memperoleh data radar dan melakukan pengkoreksian untuk menghasilkan pemetaan kawasan banjir dan tidak banjir.

1. Perolehan Data Radar

Langkah awal penelitian ini adalah mencari data kejadian banjir terlebih dahulu pada waktu tertentu di Kota Bekasi. Data yang diambil adalah data radar Sentinel 1A dengan resolusi temporal di kawasan tersebut untuk kejadian sebelum dan sesudah banjir. Kejadian sebelum banjir pada tanggal 1 Januari 2017 dan sesudah banjir pada tanggal 22 Januari 2017. Data radar dapat diaplikasikan di Indonesia untuk memetakan kawasan bencana dibandingkan dengan data citra optik yang sering tertutupi oleh awan.

2. Pengkoreksian Data Radar

Tahap awal yang dilakukan yaitu pengkoreksian pada citra yang dihasilkan sebelum pengolahan berikutnya. Data citra yang dikoreksi adalah citra sebelum dan sesudah banjir. Pengkoreksian dalam penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan informasi standar objek yang sama pada kedua proses pengambilan data tersebut. *Software* yang digunakan untuk tahapan pengambilan data, koreksi radiometrik, *speckle filtering*, dan koreksi geometrik dalam penelitian ini adalah *Sentinel Application Platform (SNAP)*.

Data radar yang diperoleh dipengaruhi oleh kondisi atmosfer seperti serapan, hamburan, dan pantulan karena partikel-partikel di atmosfer. Hal tersebut berdampak untuk nilai-nilai piksel pada citra yang kurang sesuai dengan kondisi obyek. Oleh karena itu, koreksi radiometrik perlu dilakukan untuk mengatasi ketidaksesuaian nilai piksel akibat gangguan atmosfer. Selain itu, koreksi radiometrik dapat memperbaiki kualitas visual citra.

Citra yang diperoleh merupakan pola-pola peta berwarna hitam putih dengan bintik-bintik kelabu. Bintik-bintik berwarna kelabu yang muncul pada citra disebut *speckle*. Munculnya bintik tersebut disebabkan karena adanya kombinasi hamburan dari sebagian kecil hamburan dalam suatu piksel. Oleh karena itu diperlukan *speckle filtering* untuk menyaring bintik-bintik kelabu tersebut. Penyaringan yang dilakukan dapat memudahkan proses pembacaan citra supaya lebih jelas pada kawasan penelitian.

Tahap terakhir pengkoreksian data yang dilakukan adalah koreksi geometrik. Koreksi geometrik yaitu mengembalikan atau memperbaiki posisi piksel dari citra satelit ke posisi sebenarnya yang sesuai dengan peta. Apabila tahapan dari semua koreksi ini telah dilakukan dengan sesuai maka dapat dilanjutkan untuk tahap pengolahan data.

3.5.2 Tahap Pengolahan

Tahap pengolahan penelitian ini terdiri dari beberapa perhitungan yang dapat dianalisis dengan kondisi kawasan banjir dan tidak banjir.

1. Nilai Hamburan Balik (*backscattering*)

Nilai hamburan balik (σ^0) adalah parameter yang didapatkan dari citra SAR. Nilai hamburan balik merupakan energi elektromagnetik yang dipantulkan kembali oleh obyek ke sensor radar. Nilai ini sudah didapatkan secara langsung saat melakukan proses pengolahan data tanpa kita melakukan perhitungan, tetapi dapat kita ketahui perolehan formulasinya untuk menghasilkan nilai sigma nol yaitu.

$$\sigma_{ij}^0 = K \cdot DN_{ij}^2 (i = 1, 2, \dots, L; j = 1, 2, \dots, M) \quad (3.1)$$

$$\sigma_{ij}^0(\text{dB}) = 10 \log_{10}(\sigma_{ij}^0) = 20 \log_{10}(\text{DN}_{ij}) + K(\text{dB}) \quad (3.2)$$

Keterangan:

K = konstanta kalibrasi mutlak

DN_{ij}^2 = nilai kecerahan piksel baris i dan kolom j

$\sigma_{ij}^0(\text{dB})$ = koefisien radar *backscattering* (dB)

L, M = nomer baris dan kolom pada citra

2. Tampilan Visual RGB

Metode *visual display – RGB composites* disesuaikan oleh kemampuan mata manusia untuk melihat warna dalam sebuah citra yang hanya sebatas spektrum elektromagnetik pada cahaya tampak (*visibel*). Spektrum elektromagnetik termasuk dalam citra satelit multispektral yang memiliki *band* dengan panjang gelombang tertentu. Citra satelit multispektral memiliki

komposisi warna yang terdiri dari tiga macam layer warna primer. Layer warna dasar primer ini terdiri dari merah, hijau, dan biru. Layer tersebut tersusun dari data radar dengan komposisi layer merah adalah data sebelum banjir sedangkan layer hijau dan biru adalah data sesudah banjir. Selanjutnya ketiga data tersebut diolah sesuai jenis layernya untuk pengamatan hasil citra. Warna yang semakin terang dalam tampilan visual RGB menunjukkan nilai hamburan balik yang semakin besar.

3. Klasifikasi Terawasi (*Supervised Classification*)

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *supervised classification*. *Supervised classification* adalah klasifikasi terawasi dengan menentukan *training area* berdasarkan kelas-kelas yang diinginkan. Kelas-kelas yang dipilih dalam penelitian ini meliputi pemukiman banjir, pemukiman tidak banjir, non pemukiman banjir, dan non pemukiman tidak banjir. Selanjutnya kawasan yang dipilih pada citra sebagai *training area* akan ditentukan berdasarkan warna sesuai dengan jenis kelasnya. Selanjutnya tampilan citra dapat memperlihatkan perbedaan tiap kelas-kelas untuk pengklasifikasian selanjutnya. Klasifikasi kawasan banjir dan tidak banjir untuk metode ini dapat terlihat dalam proses pengolahan data menggunakan *software ENVI 5.2*. Penentuan kelas ini tidak memiliki acuan yang mutlak karena pengkelasan ditentukan sendiri oleh user.

BAB 5. PENUTUP

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang mengacu pada rumusan masalah dan saran agar penelitian selanjutnya lebih baik.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah pemetaan Kota Bekasi yang terkena dampak banjir dapat diketahui menggunakan identifikasi teknik penginderaan jauh aktif. Kota Bekasi terdiri dari 12 kecamatan yang terbagi menjadi 56 kelurahan di Kota Bekasi. Kelas pemukiman banjir terdapat di 17 kelurahan, kelas pemukiman tidak banjir di 21 kelurahan, kelas non pemukiman banjir di 6 kelurahan, dan kelas non pemukiman tidak banjir di 12 kelurahan. Dengan demikian, Kota Bekasi dalam pemetaan penginderaan jauh paling banyak dikategorikan sebagai pemukiman tidak banjir.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan agar penelitian selanjutnya lebih baik adalah perlu dilakukan identifikasi dan klasifikasi daerah banjir dengan menggunakan data multispektral sebagai perbandingan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Djaja, R., Darmawan, D., Hadi., Akbar, A., Rajiyowiryono, H., Sudiby, Y., Meilano, I, Kasuma, M. A., Kahar, J. dan Subarya, C. 2001. Land Subsidence Of Jakarta (Indonesia) And Its Geodetic Monitoring System. *Natural Hazards* 23: 365-387.
- Arifin, Y. I. dan Kasim, M. 2012. *Penentuan Zonasi Daerah Tingkat Kerawanan Banjir di Kota Gorontalo Provinsi Gorontalo untuk Mitigasi Bencana*. Universitas Negeri Gorontalo: Program Studi Geografi Fakultas Matematika dan IPA.
- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Aqli, W. A., Wisnu, dan Hajjar, F. 2003. Re-Development Kawasan Permukiman Paska Bencana Kebakaran. *NALARs*. 2(2): 82-115.
- Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (2013): *Analisis Hujan Bulan Januari 2013*. Buletin BMKG.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2013. *Bencana di Indonesia 2012*. BNPB
- Bahar, Y. 2007. Peranan Radar dan Satelit Cuaca dalam Mendukung Kegiatan Pengamatan Meteorologi yang dilakukan oleh BMKG. *Skripsi*. IPB.
- Beckman, J.A. 1975. Communications for Imaging System, *In: Manual of Remote Sensing*. 1(1). R. G. Reves: ed.-in-chief. Virginia: American Society of Photogrammetry, Falls Church.
- Campbell, J.B. 1987. *Introduction to Remote Sensing*. New York: The Guilford Press.
- CCRS (Canada Centre for Remote Sensing). 2014. Fundamental of Remote Sensing. Diunduh 18 Maret 2017 melalui: http://www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf.

- Centre for Space Science & Technology Education in Asia and the Pacific (CSSTEAP). 2006. *Applications of Remote Sensing and Geographical Information System in Urban Studies*. Indian Institute of Remote Sensing-National Remote Sensing Agency.
- Chanlett, E. T. 1979. *Environmental Protection*. New York: McGraw Hill Book Company Inc.
- Congalton, R. G. 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 37, pp 35-46.
- Danoedoro, P. 1996. *Pengolahan Citra Digital Teori dan Aplikasinya dalam Penginderaan Jauh*. Universitas Gadjah Mada: Fakultas Geografi.
- Danoedoro, P. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1992. *Cara Menghitung Design Flood*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air Provinsi Jawa Barat. 2009. *Laporan Hidrologi dan Geologi Sungai Citarum*. Bandung: Dinas PSDA.
- Estes, J. E. 1974. Imaging with Photographic and Nonphotographic Sensor Systems, In: *Remote Sensing Techniques for Environmental Analysis*, J. E. Estes and L. W. Senger: eds. California: Hamilton Publishing Company.
- Gunanto, S. 1996. *Penelitian Tentang Usaha Penanggulangan Masalah Kesejahteraan Sosial Korban Bencana Alam Banjir di Desa Panjang Rejo*. Jakarta.
- Hedley, J. D., Harbone, A. R. dan Murby, O. J. 2005. Simple and Robust Removal of Sunlight for Mapping Shallow-Water Benthos. *Journal of Remote Sensing*. 26(10): 2107-2112.
- Hewlett, J. D. dan Bosch, J. M. 1982. Review of Catchment Experiments to Determine the Effects of Vegetation Changes on Water Yield and Evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55: 3-23.

- Huang, S., Cai, X., Chen, X., Liu, D. 2011. Change Detection Method Based on Fractal Model and Wavelet Transform for Multitemporal SAR Images. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 13: 863-872.
- Jensen, J. R. dan R. W. Dahlberg. 1986. Status and Content of Remote Sensing Education in the United States, *In: Remote Sensing Yearbook*, A. Cracknell, dan L. Hays: eds. London: Taylor and Francis.
- Jensen, J. R. 2000. *Remote Sensing of The Environment: An Earth Resource Perspective*. London: Prentice Hall, Inc.
- Kusman, A. 2008. *Studi Deformasi Gunung Api Batur dengan menggunakan Teknologi Sar Interferometri(InSAR)*. ITB: Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan Teknik Geodesi dan Geomatika.
- Kusumowidagdo, M. 2008. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Semarang: Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional dan Universitas Negeri Semarang.
- Lakitan, B. 2002. *Dasar-Dasar Klimatologi*. Jakarta: Raja Grafindo Pustaka.
- Leberl, F. W. 1990. *Radargrammetric Image Processing*. Artech House, Inc.
- Lillesand, T. M. dan R. W. Kiefer. 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Lillesand, T. M. dan R. W. Kiefer. 1979. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley and Sons.
- Lindgren, D. T. 1985. *Land Use Planning and Remote Sensing*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- Lo, C. P. 1996. *Penginderaan Jauh Terapan*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Marther, P. M. 1987. *Computer Processing of Remotely Sensed Data*. London: John Wiley & Sons.
- Martinis, S., Twele, A., Voigt, S. 2009. Toward Operational Near Real-Time Detection Using a Split-Based Automatic Threshold Procedure on High Resolution TerraSAR-X Data. *Nat Hazard Earth Syst Sci* 9: 303-314.

Nasa. 2018. *Alaska Satellite Facility*. <https://www.vertex.daac.asf.alaska.edu>).
(Diakses pada 10 November 2017).

Nurdin dan Suprayogi, I. 2015. Pemetaan Kawasan Rentan Banjir dalam Kota Pekanbaru Menggunakan Perangkat Sistem Informasi Geografis. *Annual Civil Engineering Seminar 6*: 257-262.

Paine, D. L. 1981. *Aerial Photography and Image Interpretation for Resources Management*. New York: John Willey and Sons.

Pradipta, W. 2008. Strategi Peningkatan Pendapatan Asli Daerah di Kabupaten Bekasi. *Skripsi*. Depok: Fakultas Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Indonesia.

Prahasta, E. 2008. *Sistem Informasi Geografis*. Bandung: CV. Informatika.

Prasetyo, A. 2011. *Modul Dasar ArcGIS 10: Aplikasi Pengelolaan Sumberdaya Alam*. Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.

Purwadhi, S. H. 2001. *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta: PT. Grasindo.

Rahayu, F. L. 2016. Sensitivitas dan Kapasitas Adaptif Permukiman Kumuh terhadap Bencana Banjir dan Kebakaran di Kota Bekasi. *Tesis*. Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Reeves, R. G., Anson, A., Landen, D. 1975. *Manual of Remote Sensing*. Virginia: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.

Rencana Tata Ruang dan Wilayah Kota Bekasi. 2013. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kota Bekasi Tahun 2013-2018*. Bekasi: Peraturan Daerah Kota Bekasi Nomor 11

Sabins, F. F. Jr. 1978. *Remote Sensing, Principles and Interpretation*. San Fransisco: W. H. Freeman and Co.

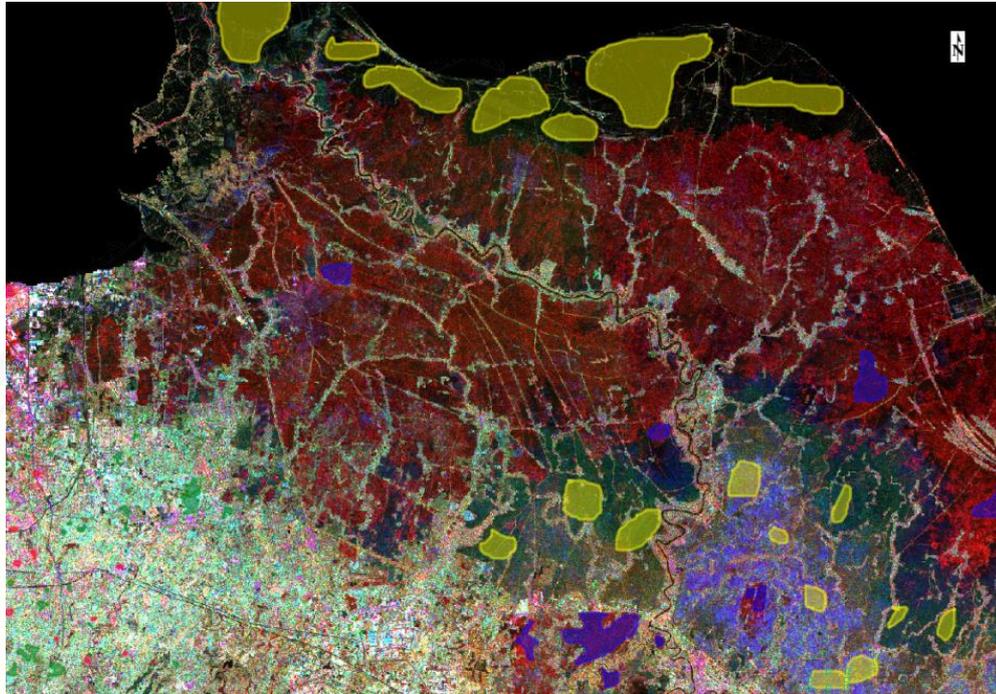
Santoso, D. 1993. *Harian Kompas* Edisi 19 Januari 1993. Jakarta.

Schwab, G. O., R. K. Frevert, T. W. Edmister, dan K. K. Barnes. 1981. *Soil and Water Conservation Engineering*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

- Serway, R. A., dan Jewett, Jr. J. W. 2010. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics Edisi 8*. Selmont, USA: Brooks/Cole.
- Simonett, D. S., Estes, J. S. dan Colwell, R. N. 1983. *Manual of Remote Sensing*. USA: American society of photogrammetry.
- Small, D. dan Meier, E. 2013. *Synthetic Aperture Radar (SAR) – Radiometric Calibration*. dari: <http://www.geo.uzh.ch/en/units/rel/research/radar-remote-sensing-sarlab/research-projects/sar-radiometric-calibratio> [20 Mei 2017]
- Somantri, L. 2008. Pemanfaatan Teknik Penginderaan Jauh untuk Mengidentifikasi Kerentanan dan Risiko Banjir. *Jurnal Gea*. 2(8): 1-6.
- Suherlan, E. 2001. Zonasi Tingkat Kerentanan Banjir Kabupaten Bandung. *Skripsi*. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Swain, P. H. dan Davis, S. M. (Ed.). 1978. *Remote Sensing-The Quantitative Approach*. New York: McGraw Hill.
- Veci, L. 2015. *Sentinel-1 Toolbox SAR Basic Tutorial*. Eropa: Array Systems Computing Inc.
- Yayasan Lembaga Bencana Alam Indonesia. 1989. *Bencana Alam danMasalahnya*. Jakarta.
- Yulianto, F., Pasaribu, J. M., Parwati, Zubaidah, A., Dirgahayu, D., Kusumaning, A. D. S., Khomarudin, M. R., Satrio, M. N., Tri, A. S. dan Widya, P. K. 2012. *Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Synthetic Aperture Radar (SAR) untuk Mendukung Quick Response dan Rapid Mapping Bencana (Studi Kasus: Deteksi Banjir Karawang, Jawa Barat)*. Jakarta: Bidang Lingkungan dan Mitigasi Bencana Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN.

LAMPIRAN

4.1 Training area



Gambar L1. Citra dengan training area sebelum *cropping* sebanyak 69 sampel berdasarkan kelas-kelasnya

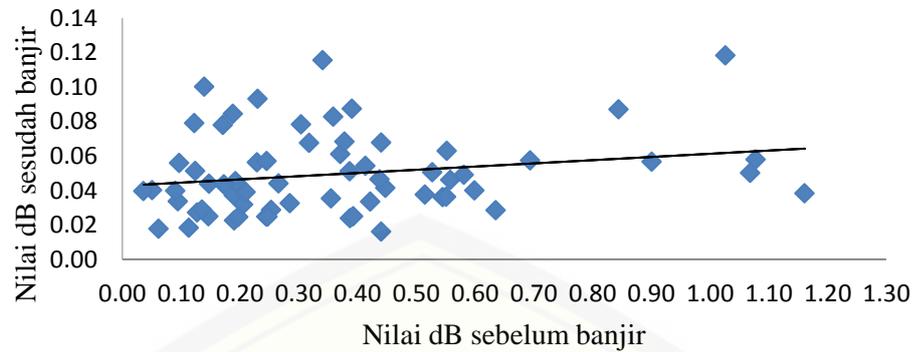
4.2 Perhitungan tiap sampel masing-masing kelas untuk sensor VH dan VV

a. Pemukiman banjir

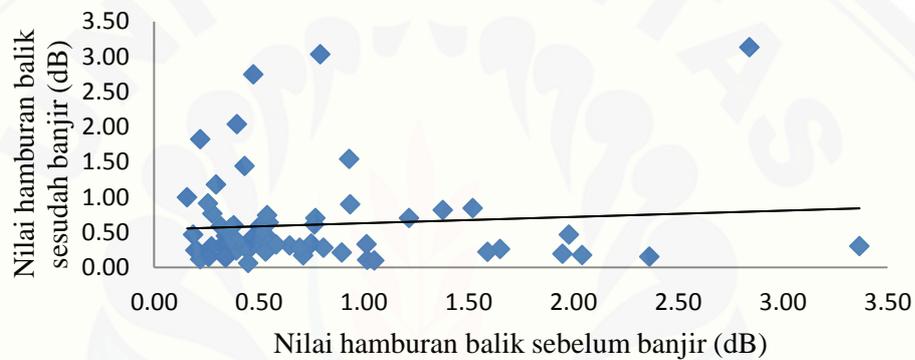
| | VH | | | VV | | |
|--|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| | Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| | 0.69422 | 0.05741 | -0.63681 | 1.37807 | 0.81824 | -0.55983 |
| | 0.84448 | 0.08709 | -0.75739 | 1.21718 | 0.70169 | -0.51549 |
| | 0.25342 | 0.02866 | -0.22476 | 0.468 | 0.30792 | -0.16008 |
| | 0.37089 | 0.06113 | -0.30976 | 0.39155 | 0.24016 | -0.15139 |
| | 0.23018 | 0.09306 | -0.13712 | 0.50243 | 0.58456 | 0.08213 |
| | 0.12399 | 0.05128 | -0.07271 | 0.47405 | 0.43441 | -0.03964 |
| | 0.3874 | 0.02394 | -0.36346 | 1.01694 | 0.10778 | -0.90916 |
| | 0.11315 | 0.0183 | -0.09485 | 0.51616 | 0.41288 | -0.10328 |
| | 0.14755 | 0.0438 | -0.10375 | 0.22006 | 0.11893 | -0.10113 |

| VH | | | VV | | |
|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| 0.58135 | 0.04907 | -0.53228 | 0.53963 | 0.43939 | -0.10024 |
| 0.06163 | 0.01778 | -0.04385 | 0.34373 | 0.45076 | 0.10703 |
| 0.14653 | 0.02497 | -0.12156 | 0.27908 | 0.76884 | 0.48976 |
| 0.19249 | 0.04539 | -0.1471 | 0.4478 | 0.24581 | -0.20199 |
| 0.05086 | 0.04025 | -0.01061 | 0.15778 | 0.99897 | 0.84119 |
| 0.24529 | 0.02471 | -0.22058 | 0.44855 | 0.06389 | -0.38466 |
| 0.59922 | 0.0399 | -0.55932 | 2.36309 | 0.15478 | -2.20831 |
| 0.09459 | 0.03367 | -0.06092 | 0.53984 | 0.25034 | -0.2895 |
| 0.19023 | 0.02261 | -0.16762 | 0.32688 | 0.32158 | -0.0053 |
| 0.4479 | 0.04146 | -0.40644 | 1.05154 | 0.101 | -0.95054 |
| 0.38706 | 0.05115 | -0.33591 | 0.93083 | 1.54262 | 0.61179 |
| 0.24761 | 0.02483 | -0.22278 | 0.80773 | 0.28189 | -0.52584 |
| 0.0362 | 0.03952 | 0.00332 | 0.20151 | 0.24686 | 0.04535 |
| 0.44046 | 0.01613 | -0.42433 | 0.77002 | 0.70245 | -0.06757 |
| 0.09687 | 0.05589 | -0.04098 | 0.25767 | 0.91273 | 0.65506 |
| 0.51512 | 0.03757 | -0.47755 | 3.3663 | 0.30498 | -3.06132 |
| 0.39274 | 0.02494 | -0.3678 | 0.39499 | 0.37686 | -0.01813 |
| 0.42193 | 0.0335 | -0.38843 | 0.31834 | 0.58654 | 0.2682 |
| 0.5523 | 0.06298 | -0.48932 | 0.64675 | 0.31351 | -0.33324 |
| 0.12728 | 0.02711 | -0.10017 | 0.47302 | 2.74576 | 2.27274 |
| 1.06836 | 0.0501 | -1.01826 | 1.97953 | 0.46691 | -1.51262 |
| 0.34113 | 0.11549 | -0.22564 | 0.54695 | 0.64127 | 0.09432 |
| 0.37817 | 0.06832 | -0.30985 | 1.52003 | 0.84609 | -0.67394 |
| 0.43778 | 0.04648 | -0.3913 | 1.65138 | 0.26455 | -1.38683 |
| 0.44054 | 0.06781 | -0.37273 | 0.71149 | 0.17395 | -0.53754 |
| 0.13571 | 0.02894 | -0.10677 | 0.21958 | 1.82257 | 1.60299 |
| 0.19745 | 0.02454 | -0.17291 | 0.19769 | 0.24385 | 0.04616 |
| 0.35909 | 0.08269 | -0.2764 | 0.74926 | 0.33844 | -0.41082 |
| 0.26586 | 0.04401 | -0.22185 | 0.39541 | 2.04007 | 1.64466 |
| 0.63533 | 0.02853 | -0.6068 | 0.53982 | 0.74448 | 0.20466 |
| 0.12262 | 0.07913 | -0.04349 | 0.79351 | 3.0322 | 2.23869 |

| | VH | | | VV | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| 0.30451 | 0.07829 | -0.22622 | 0.89557 | 0.21313 | -0.68244 | |
| 0.17143 | 0.07793 | -0.0935 | 0.27351 | 0.29864 | 0.02513 | |
| 0.54524 | 0.03602 | -0.50922 | 2.04249 | 0.17594 | -1.86655 | |
| 0.3552 | 0.03532 | -0.31988 | 0.25975 | 0.15075 | -0.109 | |
| 0.22945 | 0.05635 | -0.1731 | 0.55452 | 0.3651 | -0.18942 | |
| 0.55103 | 0.03627 | -0.51476 | 0.52923 | 0.40217 | -0.12706 | |
| 0.1885 | 0.08446 | -0.10404 | 0.36428 | 0.56051 | 0.19623 | |
| 0.55816 | 0.04613 | -0.51203 | 0.93537 | 0.89951 | -0.03586 | |
| 1.16101 | 0.03835 | -1.12266 | 0.43139 | 1.44297 | 1.01158 | |
| 0.39078 | 0.08743 | -0.30335 | 0.37999 | 0.59873 | 0.21874 | |
| 1.02617 | 0.11842 | -0.90775 | 1.01329 | 0.33 | -0.68329 | |
| 0.28527 | 0.03249 | -0.25278 | 0.76547 | 0.61086 | -0.15461 | |
| 0.20554 | 0.03183 | -0.17371 | 0.34218 | 0.14002 | -0.20216 | |
| 1.07805 | 0.05786 | -1.02019 | 2.84038 | 3.13158 | 0.2912 | |
| 0.41367 | 0.05418 | -0.35949 | 1.94927 | 0.19385 | -1.75542 | |
| 0.1898 | 0.03726 | -0.15254 | 0.58258 | 0.3246 | -0.25798 | |
| 0.31811 | 0.0676 | -0.25051 | 0.69444 | 0.27992 | -0.41452 | |
| 0.52783 | 0.05061 | -0.47722 | 0.33296 | 0.16764 | -0.16532 | |
| 0.90102 | 0.0567 | -0.84432 | 1.59091 | 0.2232 | -1.36771 | |
| 0.19743 | 0.04321 | -0.15422 | 0.35224 | 0.33637 | -0.01587 | |
| 0.2459 | 0.05707 | -0.18883 | 0.53163 | 0.2281 | -0.30353 | |
| 0.21015 | 0.03914 | -0.17101 | 0.18626 | 0.46905 | 0.28279 | |
| 0.13929 | 0.10015 | -0.03914 | 0.51537 | 0.50662 | -0.00875 | |
| 0.09005 | 0.03975 | -0.0503 | 0.34031 | 0.15844 | -0.18187 | |
| 0.1727 | 0.04347 | -0.12923 | 0.29516 | 1.17975 | 0.88459 | |
| RATA2 | 0.366635 | 0.049545 | -0.31709 | 0.756196 | 0.608276 | -0.14792 |



Gambar L2. Diagram garis pemukiman banjir sensor VH



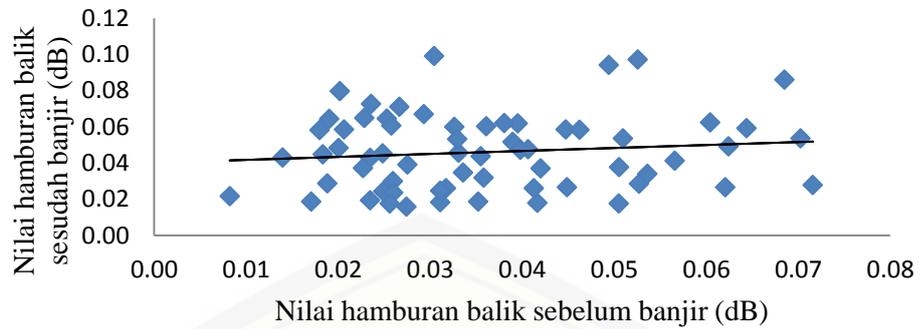
Gambar L3. Diagram garis pemukiman banjir sensor VV

b. Pemukiman tidak banjir

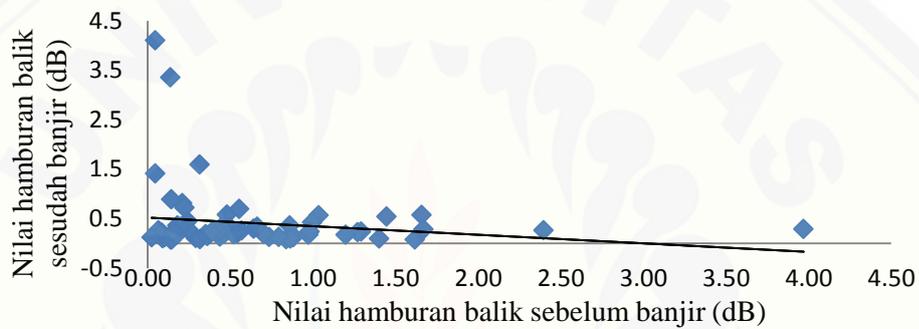
| VH | | | VV | | |
|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| 0.03263 | 0.05994 | 0.02731 | 0.43606 | 0.13478 | -0.30128 |
| 0.02595 | 0.02999 | 0.00404 | 0.24104 | 0.44784 | 0.2068 |
| 0.04475 | 0.05853 | 0.01378 | 0.87618 | 0.16023 | -0.71595 |
| 0.03581 | 0.03181 | -0.004 | 0.73499 | 0.13012 | -0.60487 |
| 0.0644 | 0.05922 | -0.00518 | 0.5677 | 0.2562 | -0.3115 |
| 0.02485 | 0.04523 | 0.02038 | 0.45976 | 0.18673 | -0.27303 |
| 0.02492 | 0.02427 | -0.00065 | 0.29054 | 0.10796 | -0.18258 |
| 0.05255 | 0.09707 | 0.04452 | 1.03376 | 0.56534 | -0.46842 |
| 0.06242 | 0.04919 | -0.01323 | 0.54167 | 0.20376 | -0.33791 |
| 0.026 | 0.02363 | -0.00237 | 0.40241 | 0.25266 | -0.14975 |

| VH | | | VV | | |
|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| 0.02665 | 0.07094 | 0.04429 | 0.46396 | 0.38473 | -0.07923 |
| 0.04065 | 0.04756 | 0.00691 | 1.65761 | 0.5703 | -1.08731 |
| 0.01396 | 0.04301 | 0.02905 | 0.08907 | 0.10407 | 0.015 |
| 0.07027 | 0.05348 | -0.01679 | 0.5207 | 0.17849 | -0.34221 |
| 0.03173 | 0.02602 | -0.00571 | 1.29203 | 0.23943 | -1.0526 |
| 0.02347 | 0.01945 | -0.00402 | 0.48309 | 0.36722 | -0.11587 |
| 0.0256 | 0.01757 | -0.00803 | 1.61599 | 0.0748 | -1.54119 |
| 0.06042 | 0.06229 | 0.00187 | 0.70048 | 0.19373 | -0.50675 |
| 0.02752 | 0.03912 | 0.0116 | 0.83749 | 0.08266 | -0.75483 |
| 0.04165 | 0.01802 | -0.02363 | 0.47897 | 0.57861 | 0.09964 |
| 0.05094 | 0.05364 | 0.0027 | 0.64067 | 0.29357 | -0.3471 |
| 0.02531 | 0.06454 | 0.03923 | 0.20868 | 0.81 | 0.60132 |
| 0.01904 | 0.06427 | 0.04523 | 0.35096 | 0.18447 | -0.16649 |
| 0.03045 | 0.09907 | 0.06862 | 3.96945 | 0.28578 | -3.68367 |
| 0.0566 | 0.04128 | -0.01532 | 0.24653 | 0.27811 | 0.03158 |
| 0.03952 | 0.06192 | 0.0224 | 0.17925 | 0.36176 | 0.18251 |
| 0.02744 | 0.01592 | -0.01152 | 0.13933 | 0.07259 | -0.06674 |
| 0.06852 | 0.08599 | 0.01747 | 1.44525 | 0.5421 | -0.90315 |
| 0.04486 | 0.02652 | -0.01834 | 0.31623 | 0.08518 | -0.23105 |
| 0.03804 | 0.06208 | 0.02404 | 0.99568 | 0.42699 | -0.56869 |
| 0.01799 | 0.05811 | 0.04012 | 0.55348 | 0.69446 | 0.14098 |
| 0.0716 | 0.02782 | -0.04378 | 0.8597 | 0.35971 | -0.49999 |
| 0.03109 | 0.01831 | -0.01278 | 0.88018 | 0.12054 | -0.75964 |
| 0.02358 | 0.07264 | 0.04906 | 1.39987 | 0.09758 | -1.30229 |
| 0.02066 | 0.05841 | 0.03775 | 1.27013 | 0.22118 | -1.04895 |
| 0.02348 | 0.04287 | 0.01939 | 0.97201 | 0.16923 | -0.80278 |
| 0.04127 | 0.02613 | -0.01514 | 0.35993 | 0.14456 | -0.21537 |
| 0.03524 | 0.01858 | -0.01666 | 0.43416 | 0.23622 | -0.19794 |
| 0.02271 | 0.03722 | 0.01451 | 0.22209 | 0.72066 | 0.49857 |
| 0.03897 | 0.05157 | 0.0126 | 0.17916 | 0.21206 | 0.0329 |
| 0.02286 | 0.06485 | 0.04199 | 0.31306 | 1.59064 | 1.27758 |

| | VH | | | VV | | |
|--------------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| | Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| | 0.04202 | 0.03702 | -0.005 | 0.06388 | 0.26532 | 0.20144 |
| | 0.03551 | 0.04368 | 0.00817 | 0.20061 | 0.33506 | 0.13445 |
| | 0.05269 | 0.02845 | -0.02424 | 0.10109 | 0.11805 | 0.01696 |
| | 0.03358 | 0.03472 | 0.00114 | 0.14356 | 0.89058 | 0.74702 |
| | 0.03919 | 0.05061 | 0.01142 | 0.14975 | 0.15376 | 0.00401 |
| | 0.04942 | 0.09405 | 0.04463 | 0.17624 | 0.17277 | -0.00347 |
| | 0.0202 | 0.07967 | 0.05947 | 0.08654 | 0.20805 | 0.12151 |
| | 0.03979 | 0.04717 | 0.00738 | 0.1558 | 0.12888 | -0.02692 |
| | 0.01884 | 0.0287 | 0.00986 | 0.04546 | 1.40972 | 1.36426 |
| | 0.05363 | 0.03408 | -0.01955 | 0.42368 | 0.23112 | -0.19256 |
| | 0.00822 | 0.02161 | 0.01339 | 0.38719 | 0.22885 | -0.15834 |
| | 0.03611 | 0.0603 | 0.02419 | 0.1553 | 0.1989 | 0.0436 |
| | 0.0331 | 0.04556 | 0.01246 | 0.86394 | 0.09714 | -0.7668 |
| | 0.03294 | 0.05312 | 0.02018 | 0.13707 | 3.35261 | 3.21554 |
| | 0.0505 | 0.01762 | -0.03288 | 0.1454 | 0.07555 | -0.06985 |
| | 0.01709 | 0.01869 | 0.0016 | 0.79211 | 0.12818 | -0.66393 |
| | 0.02578 | 0.06066 | 0.03488 | 0.02364 | 0.12405 | 0.10041 |
| | 0.06209 | 0.02663 | -0.03546 | 0.15372 | 0.22357 | 0.06985 |
| | 0.04624 | 0.05826 | 0.01202 | 2.39488 | 0.26587 | -2.12901 |
| | 0.02005 | 0.04831 | 0.02826 | 1.19737 | 0.17345 | -1.02392 |
| | 0.01833 | 0.04472 | 0.02639 | 0.0455 | 4.10031 | 4.05481 |
| | 0.05055 | 0.0377 | -0.01285 | 0.97953 | 0.23397 | -0.74556 |
| | 0.02933 | 0.06703 | 0.0377 | 1.66821 | 0.28505 | -1.38316 |
| | 0.03111 | 0.02458 | -0.00653 | 0.66241 | 0.3341 | -0.32831 |
| RATA2 | 0.036195 | 0.046016 | 0.009821 | 0.62788 | 0.413261 | -0.21462 |



Gambar L4. Diagram garis pemukiman tidak banjir sensor VH



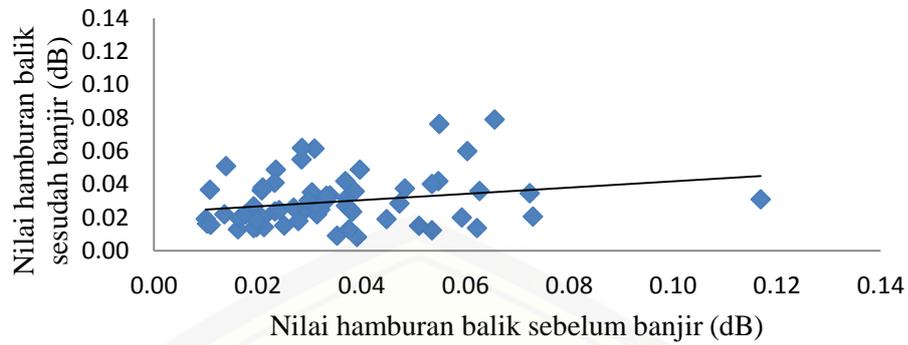
Gambar L5. Diagram garis pemukiman tidak banjir sensor VV

c. Non pemukiman banjir

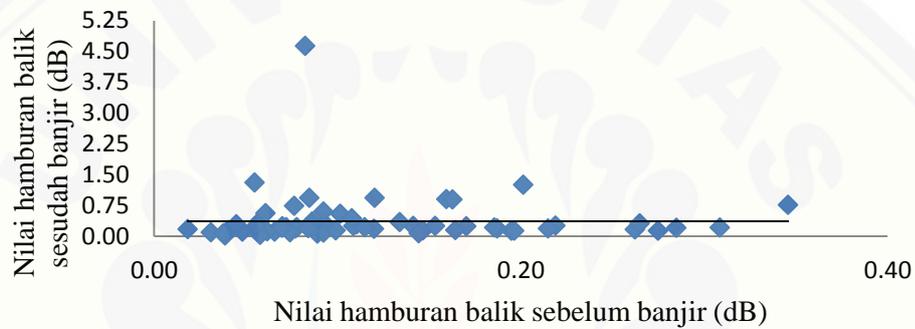
| VH | | | VV | | |
|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| 0.01881 | 0.02274 | 0.00393 | 0.06571 | 0.11148 | 0.04577 |
| 0.03044 | 0.03505 | 0.00461 | 0.07777 | 0.21625 | 0.13848 |
| 0.11691 | 0.03091 | -0.086 | 0.26223 | 0.15886 | -0.10337 |
| 0.03531 | 0.00907 | -0.02624 | 0.03874 | 0.01582 | -0.02292 |
| 0.05937 | 0.01985 | -0.03952 | 0.28493 | 0.20154 | -0.08339 |
| 0.05357 | 0.01222 | -0.04135 | 0.07203 | 0.2166 | 0.14457 |
| 0.05482 | 0.04177 | -0.01305 | 0.11036 | 0.28491 | 0.17455 |
| 0.03301 | 0.02961 | -0.0034 | 0.11989 | 0.17882 | 0.05893 |
| 0.03774 | 0.02505 | -0.01269 | 0.05746 | 0.3539 | 0.29644 |
| 0.02353 | 0.04883 | 0.0253 | 0.10872 | 0.25071 | 0.14199 |
| 0.02855 | 0.02261 | -0.00594 | 0.11485 | 0.21727 | 0.10242 |

| VH | | | VV | | |
|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| 0.0321 | 0.02473 | -0.00737 | 0.07716 | 0.18718 | 0.11002 |
| 0.0484 | 0.03738 | -0.01102 | 0.08624 | 0.35631 | 0.27007 |
| 0.02332 | 0.02363 | 0.00031 | 0.05806 | 0.1224 | 0.06434 |
| 0.01623 | 0.01277 | -0.00346 | 0.04015 | 0.12203 | 0.08188 |
| 0.0198 | 0.01414 | -0.00566 | 0.03093 | 0.09425 | 0.06332 |
| 0.02516 | 0.01516 | -0.01 | 0.08838 | 0.1642 | 0.07582 |
| 0.03143 | 0.02185 | -0.00958 | 0.14132 | 0.25103 | 0.10971 |
| 0.03691 | 0.04176 | 0.00485 | 0.10147 | 0.54033 | 0.43886 |
| 0.07245 | 0.03453 | -0.03792 | 0.18704 | 0.18251 | -0.00453 |
| 0.03716 | 0.03165 | -0.00551 | 0.10774 | 0.43078 | 0.32304 |
| 0.02849 | 0.02309 | -0.0054 | 0.08565 | 0.28861 | 0.20296 |
| 0.02328 | 0.04086 | 0.01758 | 0.09287 | 0.31175 | 0.21888 |
| 0.05358 | 0.0401 | -0.01348 | 0.34572 | 0.75848 | 0.41276 |
| 0.04486 | 0.019 | -0.02586 | 0.14662 | 0.13526 | -0.01136 |
| 0.02002 | 0.01945 | -0.00057 | 0.09435 | 0.19026 | 0.09591 |
| 0.06038 | 0.05992 | -0.00046 | 0.21889 | 0.2533 | 0.03441 |
| 0.03116 | 0.02717 | -0.00399 | 0.17032 | 0.23799 | 0.06767 |
| 0.01645 | 0.01936 | 0.00291 | 0.0404 | 0.14536 | 0.10496 |
| 0.02415 | 0.02439 | 0.00024 | 0.09244 | 0.59995 | 0.50751 |
| 0.03968 | 0.04869 | 0.00901 | 0.07648 | 0.73862 | 0.66214 |
| 0.02784 | 0.0178 | -0.01004 | 0.19481 | 0.13162 | -0.06319 |
| 0.02095 | 0.01947 | -0.00148 | 0.03785 | 0.07064 | 0.03279 |
| 0.02982 | 0.03013 | 0.00031 | 0.08896 | 0.05856 | -0.0304 |
| 0.05109 | 0.01497 | -0.03612 | 0.04816 | 0.10845 | 0.06029 |
| 0.03706 | 0.02703 | -0.01003 | 0.09377 | 0.20191 | 0.10814 |
| 0.02078 | 0.03619 | 0.01541 | 0.09238 | 0.08255 | -0.00983 |
| 0.03392 | 0.03327 | -0.00065 | 0.08413 | 0.19427 | 0.11014 |
| 0.02101 | 0.038 | 0.01699 | 0.15332 | 0.24441 | 0.09109 |
| 0.03096 | 0.06134 | 0.03038 | 0.13403 | 0.34344 | 0.20941 |
| 0.06566 | 0.07899 | 0.01333 | 0.1594 | 0.8965 | 0.7371 |
| 0.02125 | 0.01408 | -0.00717 | 0.06993 | 0.23858 | 0.16865 |

| | VH | | | VV | | |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| | 0.01922 | 0.02661 | 0.00739 | 0.06071 | 0.55994 | 0.49923 |
| | 0.0136 | 0.02182 | 0.00822 | 0.07417 | 0.08937 | 0.0152 |
| | 0.01926 | 0.01362 | -0.00564 | 0.06161 | 0.11741 | 0.0558 |
| | 0.02848 | 0.05483 | 0.02635 | 0.1856 | 0.21074 | 0.02514 |
| | 0.0108 | 0.03667 | 0.02587 | 0.0846 | 0.93178 | 0.84718 |
| | 0.06224 | 0.01366 | -0.04858 | 0.14439 | 0.0663 | -0.07809 |
| | 0.03824 | 0.02337 | -0.01487 | 0.26484 | 0.3093 | 0.04446 |
| | 0.06278 | 0.03581 | -0.02697 | 0.27489 | 0.1286 | -0.14629 |
| | 0.04733 | 0.02836 | -0.01897 | 0.21492 | 0.18177 | -0.03315 |
| | 0.03324 | 0.03301 | -0.00023 | 0.16436 | 0.14447 | -0.01989 |
| | 0.01762 | 0.02166 | 0.00404 | 0.12031 | 0.92938 | 0.80907 |
| | 0.03872 | 0.03566 | -0.00306 | 0.05483 | 1.30142 | 1.24659 |
| | 0.05503 | 0.07621 | 0.02118 | 0.099 | 0.13827 | 0.03927 |
| | 0.01979 | 0.01803 | -0.00176 | 0.04487 | 0.28722 | 0.24235 |
| | 0.00998 | 0.01909 | 0.00911 | 0.01837 | 0.16667 | 0.1483 |
| | 0.01389 | 0.05096 | 0.03707 | 0.08246 | 4.62835 | 4.54589 |
| | 0.01027 | 0.01623 | 0.00596 | 0.0578 | 0.02659 | -0.03121 |
| | 0.02857 | 0.06185 | 0.03328 | 0.20128 | 1.25306 | 1.05178 |
| | 0.03914 | 0.00831 | -0.03083 | 0.30854 | 0.20918 | -0.09936 |
| | 0.07302 | 0.0205 | -0.05252 | 0.16274 | 0.89416 | 0.73142 |
| | 0.01096 | 0.01549 | 0.00453 | 0.05579 | 0.24745 | 0.19166 |
| | 0.03759 | 0.01279 | -0.0248 | 0.06974 | 0.20245 | 0.13271 |
| | 0.02691 | 0.02597 | -0.00094 | 0.19649 | 0.1338 | -0.06269 |
| RATA2 | 0.03408 | 0.029393 | -0.00469 | 0.117076 | 0.359298 | 0.242222 |



Gambar L6. Diagram garis non pemukiman banjir sensor VH



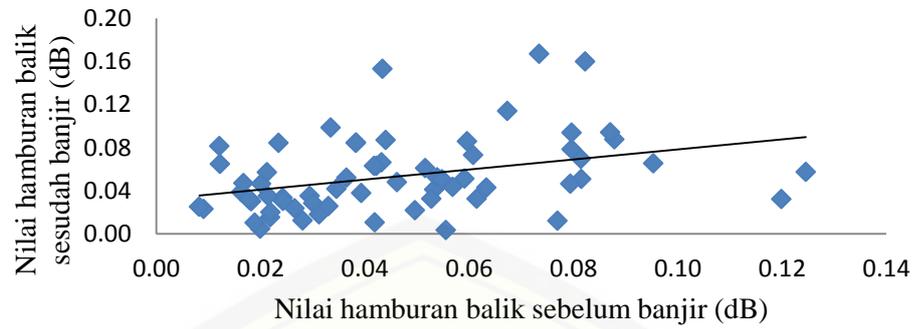
Gambar L7. Diagram garis non pemukiman banjir sensor VV

d. Non pemukiman tidak banjir

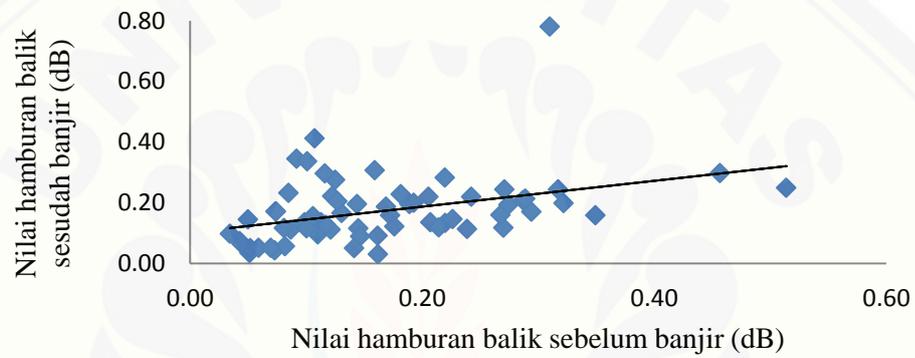
| | | VH | | | VV | | |
|--|---------|---------|----------|---------|---------|----------|--|
| | Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ | |
| | 0.02124 | 0.05717 | 0.03593 | 0.12495 | 0.27457 | 0.14962 | |
| | 0.04224 | 0.06298 | 0.02074 | 0.09182 | 0.34492 | 0.2531 | |
| | 0.04194 | 0.01063 | -0.03131 | 0.17243 | 0.1578 | -0.01463 | |
| | 0.03349 | 0.09848 | 0.06499 | 0.10738 | 0.41154 | 0.30416 | |
| | 0.03646 | 0.052 | 0.01554 | 0.15908 | 0.30618 | 0.1471 | |
| | 0.06148 | 0.03245 | -0.02903 | 0.11284 | 0.13497 | 0.02213 | |
| | 0.03836 | 0.08456 | 0.0462 | 0.31725 | 0.2438 | -0.07345 | |
| | 0.08151 | 0.05085 | -0.03066 | 0.17596 | 0.12107 | -0.05489 | |
| | 0.01996 | 0.00458 | -0.01538 | 0.07296 | 0.04244 | -0.03052 | |
| | 0.02187 | 0.01546 | -0.00641 | 0.05126 | 0.03393 | -0.01733 | |
| | 0.02012 | 0.04632 | 0.0262 | 0.13052 | 0.16607 | 0.03555 | |

| VH | | | VV | | |
|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| 0.11988 | 0.03232 | -0.08756 | 0.27004 | 0.11757 | -0.15247 |
| 0.02809 | 0.01227 | -0.01582 | 0.05197 | 0.04987 | -0.0021 |
| 0.01629 | 0.03864 | 0.02235 | 0.03434 | 0.0971 | 0.06276 |
| 0.04339 | 0.15297 | 0.10958 | 0.20723 | 0.13467 | -0.07256 |
| 0.06077 | 0.07293 | 0.01216 | 0.29413 | 0.17031 | -0.12382 |
| 0.08143 | 0.06963 | -0.0118 | 0.12127 | 0.11101 | -0.01026 |
| 0.01675 | 0.04708 | 0.03033 | 0.11014 | 0.09557 | -0.01457 |
| 0.04399 | 0.08701 | 0.04302 | 0.21971 | 0.28247 | 0.06276 |
| 0.02946 | 0.03522 | 0.00576 | 0.21993 | 0.13305 | -0.08688 |
| 0.09533 | 0.06549 | -0.02984 | 0.22638 | 0.14519 | -0.08119 |
| 0.12456 | 0.05725 | -0.06731 | 0.12251 | 0.22088 | 0.09837 |
| 0.08786 | 0.08749 | -0.00037 | 0.10095 | 0.33614 | 0.23519 |
| 0.01891 | 0.01045 | -0.00846 | 0.05922 | 0.05123 | -0.00799 |
| 0.05686 | 0.04358 | -0.01328 | 0.18907 | 0.19507 | 0.006 |
| 0.02428 | 0.03329 | 0.00901 | 0.08672 | 0.11104 | 0.02432 |
| 0.02347 | 0.0843 | 0.06083 | 0.2677 | 0.15886 | -0.10884 |
| 0.06334 | 0.04301 | -0.02033 | 0.14517 | 0.11471 | -0.03046 |
| 0.08229 | 0.15973 | 0.07744 | 0.27094 | 0.24312 | -0.02782 |
| 0.04324 | 0.06613 | 0.02289 | 0.16884 | 0.18638 | 0.01754 |
| 0.07695 | 0.01223 | -0.06472 | 0.08177 | 0.05592 | -0.02585 |
| 0.02656 | 0.02355 | -0.00301 | 0.04992 | 0.14435 | 0.09443 |
| 0.0496 | 0.02186 | -0.02774 | 0.14658 | 0.08924 | -0.05734 |
| 0.03012 | 0.02833 | -0.00179 | 0.11619 | 0.29596 | 0.17977 |
| 0.05558 | 0.00355 | -0.05203 | 0.16195 | 0.02992 | -0.13203 |
| 0.01791 | 0.03147 | 0.01356 | 0.12706 | 0.20443 | 0.07737 |
| 0.02194 | 0.02012 | -0.00182 | 0.09874 | 0.13512 | 0.03638 |
| 0.0182 | 0.03 | 0.0118 | 0.06953 | 0.05076 | -0.01877 |
| 0.02432 | 0.03056 | 0.00624 | 0.16164 | 0.0912 | -0.07044 |
| 0.01223 | 0.06475 | 0.05252 | 0.10581 | 0.15558 | 0.04977 |
| 0.05163 | 0.06085 | 0.00922 | 0.10977 | 0.10596 | -0.00381 |
| 0.00911 | 0.02298 | 0.01387 | 0.0427 | 0.07332 | 0.03062 |

| | VH | | | VV | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Pre | Post | Δ | Pre | Post | Δ |
| | 0.04617 | 0.0478 | 0.00163 | 0.11691 | 0.12686 | 0.00995 |
| | 0.02146 | 0.03521 | 0.01375 | 0.07419 | 0.17096 | 0.09677 |
| | 0.07966 | 0.07835 | -0.00131 | 0.32205 | 0.19777 | -0.12428 |
| | 0.06734 | 0.11399 | 0.04665 | 0.27457 | 0.19334 | -0.08123 |
| | 0.03122 | 0.01787 | -0.01335 | 0.14135 | 0.05024 | -0.09111 |
| | 0.01213 | 0.08142 | 0.06929 | 0.08106 | 0.11598 | 0.03492 |
| | 0.05965 | 0.08586 | 0.02621 | 0.23867 | 0.1133 | -0.12537 |
| | 0.05915 | 0.05118 | -0.00797 | 0.1926 | 0.19885 | 0.00625 |
| | 0.0383 | 0.08429 | 0.04599 | 0.24238 | 0.21971 | -0.02267 |
| | 0.07346 | 0.16692 | 0.09346 | 0.31008 | 0.77956 | 0.46948 |
| | 0.0533 | 0.04096 | -0.01234 | 0.0848 | 0.23192 | 0.14712 |
| | 0.08706 | 0.09392 | 0.00686 | 0.45673 | 0.29727 | -0.15946 |
| | 0.07943 | 0.04637 | -0.03306 | 0.18176 | 0.22809 | 0.04633 |
| | 0.04182 | 0.06286 | 0.02104 | 0.20556 | 0.21912 | 0.01356 |
| | 0.0539 | 0.05229 | -0.00161 | 0.51389 | 0.24871 | -0.26518 |
| | 0.05279 | 0.03247 | -0.02032 | 0.28712 | 0.20759 | -0.07953 |
| | 0.03458 | 0.04163 | 0.00705 | 0.28893 | 0.21333 | -0.0756 |
| | 0.03306 | 0.02578 | -0.00728 | 0.21422 | 0.11806 | -0.09616 |
| | 0.03931 | 0.0377 | -0.00161 | 0.10046 | 0.11476 | 0.0143 |
| | 0.07966 | 0.09363 | 0.01397 | 0.34938 | 0.15872 | -0.19066 |
| | 0.00824 | 0.02517 | 0.01693 | 0.0447 | 0.06343 | 0.01873 |
| | 0.01786 | 0.03234 | 0.01448 | 0.07392 | 0.17097 | 0.09705 |
| | 0.05481 | 0.05053 | -0.00428 | 0.14388 | 0.19493 | 0.05105 |
| RATA2 | 0.046113 | 0.053278 | 0.007164 | 0.167594 | 0.173181 | 0.005587 |



Gambar L8. Diagram garis non pemukiman tidak banjir sensor VH



Gambar L9. Diagram garis non pemukiman tidak banjir sensor VV