

***State of the Art of Remote Sensing in Flood Early Warning System: Review Article***

**Agustina Rachmawardani<sup>1,2)</sup>, Giarno<sup>1)</sup>, Hapsoro A. Nugroho<sup>1)</sup>, Suharni<sup>1)</sup>, Dedi Sucahyono<sup>1)</sup>, Hariyanto<sup>1)</sup>, Sastra K. Wijaya<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Prodi Instrumentasi Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

<sup>2)</sup> Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia

agustina.rahmawardani@stmkg.ac.id

**Article History**

accepted 02/10/2022

approved 21/10/2022

published 25/11/2022

**Abstract**

*As a tropical country, Indonesia, especially Jakarta as the capital city of the country, has a high risk of flooding. The impact of floods will affect all aspects of human life. During flood events, timely situation reports, and details required by disaster management authorities to locate and identify affected areas to implement damage mitigation. Conventional flood early warning utilizes earth station observation data such as rainfall data, river flow height and river discharge data. Not all areas visited by floods are covered by the ground station sensor network. Remote sensing provides precise and low-cost data compared to field observations, besides remote sensing systems can also perform flood detection more precisely and in close to real time. Remote sensing systems on satellites can provide a lot of information needed to describe flood-affected areas, assess damage, and provide appropriate input to flood modeling so as to predict flood vulnerability in flood-affected areas.*

**Keywords:** *remote sensing, flood early warning, reflectance, hidrometeorological disaster*

**Abstrak:**

Sebagai negara tropis, Indonesia khususnya Jakarta sebagai ibukota negara mempunyai resiko terjadinya banjir yang cukup tinggi. Dampak banjir akan berpengaruh pada seluruh aspek kehidupan manusia. Selama kejadian banjir, laporan situasi yang tepat waktu dan terperinci diperlukan oleh otoritas manajemen bencana untuk menemukan dan mengidentifikasi daerah yang terkena dampak untuk menerapkan mitigasi kerusakan. Peringatan dini banjir konvensional memanfaatkan data-data pengamatan ground station seperti data curah hujan, ketinggian aliran sungai maupun data debit sungai. Tidak semua wilayah yang terdampak banjir dicover oleh jaringan sensor ground station. Penginderaan jauh menyediakan data yang tepat dan berbiaya rendah dibanding dengan pengamatan lapangan, selain itu sistem penginderaan jauh juga dapat melakukan deteksi banjir lebih tepat dan mendekati real time. Sistem penginderaan jauh pada satelit dapat memberikan banyak informasi yang diperlukan untuk menggambarkan daerah yang terkena dampak banjir, menilai kerusakan, dan input yang tepat pada pemodelan banjir sehingga dapat memprediksi kerentanan banjir di daerah yang terkena dampak banjir.

**Kata Kunci:** *penginderaan jauh, peringatan dini banjir, reflektansi, bencana hidrometeorologi*

**Social, Humanities, and Education Studies (SHEs): Conference Series**  
<https://jurnal.uns.ac.id/shes>

p-ISSN 2620-9284  
e-ISSN 2620-9292



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

## PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana alam yang paling sering terjadi di Asia. Salah satu Negara Asia dengan dampak banjir tertinggi adalah Indonesia khususnya di ibukota Negara yaitu Jakarta. Jakarta sebagai ibukota Negara sudah beberapa kali mengalami banjir besar pada abad ke dua puluh satu ini yaitu pada tahun 2002, 2007, 2013, 2015 dan 2020. Banjir tahun 2007 dianggap sebagai bencana nasional yang mengakibatkan kerugian sebesar US \$ 565 juta. Sektor perumahan adalah yang paling besar terkena imbasnya sekitar 74 % dari total kerugian.(Bappenas, 2007). Hujan deras yang mengguyur Jakarta dan kota-kota besar sekitarnya pada tanggal 17-19 Januari 2013 menyebabkan banjir besar dan menggenangi 98.000 perumahan sehingga membuat 40.000 orang harus mengungsi dan korban jiwa sebanyak 20 orang. Banjir tersebut menyebabkan kerusakan total yang diperkirakan mencapai US \$ 775 juta. (Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), 2013). Peristiwa ini menunjukkan banjir merupakan masalah serius di Jakarta.

Manajemen banjir konvensional bergantung pada pemantauan curah hujan dan debit sungai ground based. Beberapa negara tropis mempunyai resiko banjir yang cukup tinggi dan juga terdapat bagian dari daratan tidak tercover oleh jaringan sensor banjir sedangkan data spasial penginderaan jauh menyediakan manajemen data tepat waktu dan biaya rendah sehingga penggabungan antara data daratan dan data remote sensing bisa menghasilkan prediksi banjir yang bagus dan akurat. Banyak aspek manajemen banjir terbantu dengan kemajuan teknologi di bidang remote sensing ini. Deteksi banjir yang lebih tepat dan real time, lead time pada sistem early warning banjir dan input yang akurat dari model hidrologi saat ini dikarenakan teknologi remote sensing yang digunakan.

Penerapan penginderaan jauh berbasis satelit telah banyak berkembang. Beberapa penelitian focus pada manajemen banjir dan penginderaan jauh. Penelitian (G. J. P. Schumann & Moller, 2015) menjelaskan tentang microwave remote sensing untuk genangan banjir. Metode remote sensing telah berkembang sebelum tahun 2004 untuk pemetaan bencana banjir Sanyal and Lu (2004). Metode penginderaan jauh yang dikembangkan Penerapan penginderaan jauh hiperspektral dalam deteksi dan pemantauan banjir dirangkum oleh Govender et al. (2007). Opolot (2013) mensintesis penerapan penginderaan jauh pada pengelolaan banjir dengan meringkas studi kasus yang berbeda, namun, tinjauannya hanya berfokus pada citra satelit resolusi spasial sedang. Lin dkk (2016) merangkum penerapan berbagai sensor dan misi satelit yang berfokus pada resolusi spasial dan temporalnya. Schumann dan Moller (2015) memberikan wawasan yang berguna tentang penginderaan jauh gelombang mikro di genangan banjir. Fokusnya adalah untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang penginderaan jauh satelit dari resolusi spasial halus hingga kasar, dan dari aplikasi optik hingga gelombang mikro dalam berbagai tahap pengelolaan banjir. Nat Hazards (2017) berfokus pada penginderaan jauh satelit karena data dari sumber ini hemat waktu dan biaya yang merupakan pertimbangan terpenting dalam pengelolaan banjir di negara berkembang. Automated Computer Vision merupakan salah satu bidang Artificial Intelligence (AI) dan algoritma computer yang secara otomatis menginterpretasikan informasi visual. Teknologi ini sangat berguna untuk pengelolaan banjir. Untuk itu teknologi *computer vision* ini sangat berpotensi untuk digunakan dalam pengelolaan banjir. Citra satelit telah menyediakan informasi spasial untuk menganalisa interaksi antara penggunaan lahan, limpasan dan genangan. Dari beberapa teknologi yang ada penginderaan gelombang mikro merupakan solusi yang menjanjikan untuk memetakan ekosistem hidrodinamik.

## PEMBAHASAN

### 2.1 Penginderaan jauh dalam Manajemen Bencana banjir

Manajemen bahaya banjir meliputi aktifitas untuk memperkirakan berapa banyak air yang ada, kapan dan dimana. Estimasi curah hujan, pemetaan genangan, aliran air dan perkiraan kedalaman merupakan kunci dari manajemen bencana banjir. Dengan perkembangan teknologi remote sensing, data pada penelitian prediksi banjir juga berasal dari data penginderaan jauh.

#### 2.1.1 Penginderaan Jauh dalam Prediksi Banjir

Prediksi banjir merupakan komponen yang penting pada manajemen bahaya banjir. Curah hujan yang tinggi, gelombang pantai, bendungan dan pencairan salju adalah sumber utama banjir. Deteksi curah hujan dan prediksi kuantitatif, prediksi cuaca dan pemodelan prakiraan juga memainkan peran penting dalam prakiraan banjir. Prakiraan model statistik sistem tergantung pada prakiraan curah hujan radar berbasis darat dan stasiun pengukur hujan. (Borga et al., 2011) menyebutkan bahwa curah hujan harus dipantau dalam rentang waktu yang luas dan skala spasial dan untuk semua potensi yang ada. Kebanyakan banjir didasarkan pada prakiraan banjir model hidrolik, dimana data penginderaan jauh satelit memiliki peran penting sebagai input parameter. (G. Schumann et al., 2012) menjelaskan bahwa teknik penginderaan jauh saat ini dapat digunakan untuk mengambil data data banjir dan level air. Data data remote sensing tersebut dapat diintegrasikan dengan model hidrodinamik untuk evaluasi perbaikan model sehingga dapat digunakan untuk perbaikan prediksi genangan banjir. Penginderaan jauh gelombang mikro untuk banjir mempunyai banyak kegunaan dibanding data optic yang berkaitan dengan awan. Menggabungkan antara teknik data remote sensing dan model hidraulik akan menghasilkan prediksi yang powerful dan robust namun perlu dilakukan penelitian lebih jauh untuk kasus prediksi banjir

Hampir sama dengan penginderaan jauh optik, penginderaan jauh gelombang mikro juga bermanfaat untuk prediksi banjir. Penginderaan jauh gelombang mikro sudah digunakan untuk perkiraan curah hujan. Keakuratan estimasi curah hujan dari cahaya tampak dan infrared kurang spesifik. Ground based dan satelit berbasis radar merupakan sumber yang layak untuk obyek di atas lautan dan di bumi (Kucera et al., 2013).

Penelitian terbaru menggunakan estimasi curah hujan pada satelit menginformasikan pola spasial dan temporal banjir (Hong et al., 2007) mengembangkan sistem pemantauan banjir global berdasarkan prakiraan curah hujan dari analisis curah hujan TRMM multi satelit. Banyak daerah aliran sungai di hilir seperti sungai Gangga dan aliran sungai Brahmaputra di Bangladesh rentan terhadap banjir dan di daerah aliran sungai bagian hulu, seperti yang ada di India. Namun data dari alat pengukur tidak tersedia di daerah hilir. Pemantauan banjir berkaitan dengan lebar sungai dapat memberikan lead time lebih dari seminggu untuk prakiraan banjir di bagian hilir. (Hossain et al., 2014) menggunakan dinamika sungai (tinggi) dan informasi genangan (lebar) bagian hulu dari radar altimeter satelit (JASON) untuk mengembangkan prakiraan banjir di hilir dengan lead time lima hari. Surface Water Ocean Topography (SWOT) adalah misi baru dengan radar interferometry K Band yang dapat memberikan informasi ketinggian air (Sikder & Hossain, 2015). Informasi ketinggian air dari misi ini dapat memperbaiki prediksi banjir dan sistem monitoring yang ada.

Digital Elevation Model (DEM) telah banyak digunakan dalam beberapa prakiraan banjir berbasis model hidrolik. Dalam pemodelan banjir, DEM biasanya berfungsi untuk penelitian area sungai dan cekungan banjir. DEM merupakan salah satu parameter untuk beberapa pemodelan aspek banjir seperti debit sungai (Tarekegn et al., 2010), cekungan banjir dan daerah aliran sungai. Informasi tentang ketinggian suatu tempat tidak tersedia di kebanyakan area, untuk itu penginderaan jarak jauh berkontribusi pada pemetaan topografi (DEM). Data dari satelit seperti ERS, SPOT, RADARSAT dapat menghasilkan DEM pada resolusi spasial

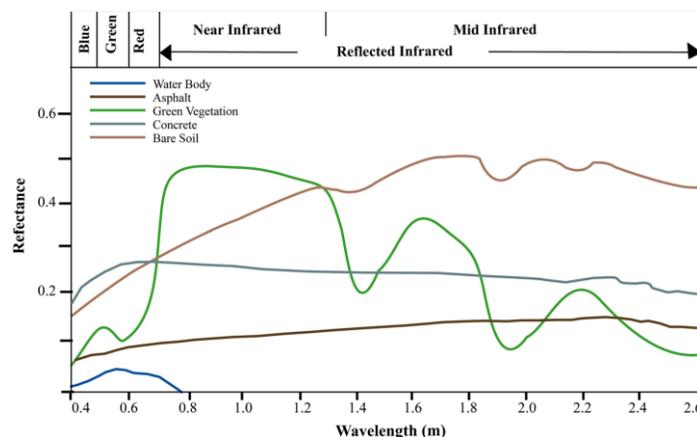
3 – 10 m pada daerah yang kompleks (Jeyaseelan, 2003). Resolusi spasial sedang (15 – 90 m) Global DEM (GDEM) tersedia gratis dari Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) dan Misi Topografi Radar (SRTM). DEM dengan resolusi spasial sedang hingga halus dapat dilihat di radar interferometry yang dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi termasuk bahaya banjir.

Berdasarkan penginderaan jauh diperoleh pemantauan curah hujan, tutupan lahan dan DEM yang berhubungan dengan berbagai teknik pemodelan banjir dan monitoring banjir berbasis web seperti Global Flood Monitoring System (GFMS) dan Extreme Rainfall Detection System (ERDS) yang menyediakan informasi banjir secara real time. Selain itu data aliran sungai dan data limpasan permukaan pada lokasi dan waktu ada juga pada sistem ini (Wu H, Adler RF, Tian Y, Huffman GJ, Li H, 2014).

### 2.1.2 Penginderaan Jauh dalam Pemetaan dan Monitoring Genangan Banjir

Pemantauan banjir meliputi pola temporal dan spasial genangan banjir (Sheng et al., 2001), menggambarkan area banjir atau pemetaan genangan banjir, perubahan dinamis area banjir dan pemantauan tingkat banjir (Li et al., 2011). Penerapan penginderaan jauh dalam monitoring banjir sudah lebih ada dahulu daripada aplikasi manajemen banjir. Berbagai macam sensor dan platform telah digunakan dalam pemantauan banjir sejak tahun 1970.

Pada aplikasi awal sebagian besar studi menggunakan penginderaan jauh optic tetapi kemudian beberapa penelitian menggunakan data dari sensor lain (misalnya gelombang mikro dan data optic untuk pemetaan area banjir). Setelah peluncuran satelit Landsat data penginderaan jauh tersedia untuk pemetaan genangan banjir. Awalnya ilmuwan Amerika Utara menggunakan citra Landsat Multi Spectral Scanner (MSS) untuk pemetaan banjir. Ciri khas air adalah penyerapannya di daerah Near Infrared (NIR) dan seterusnya (gambar 2.1) (Govender et al., 2007) dan dengan prinsip ini optical remote sensing dari band NIR menjadi populer untuk pemetaan genangan di seluruh dunia. Landsat MSS dengan resolusi spasial sedang (80 m) berguna untuk memetakan daerah genangan di awal penelitian. Landsat Thematic Mapper (TM) dengan resolusi spasial 30 m dan resolusi temporal 18 hari juga populer untuk pemetaan banjir. Band TM NIR dan MSS NIR memiliki karakteristik yang sama, sehingga keduanya memungkinkan untuk pemantauan jangka panjang. Sejak tahun 1980an Landsat TM menjadi sumber utama penginderaan jauh satelit untuk manajemen banjir di banyak bagian dunia seperti India (Jain et al., 2005) , Afrika (Schneider et al., 1985) dan di Australia (Thomas et al., 2011). Beberapa penelitian terbaru menggunakan Enhanced Thematic Mapper (ETM) (Chormanski et al., 2011) dan Operational Land Imagery (OLI) (Rokni et al., 2014) untuk pemetaan genangan banjir.



**Gambar 2.1 Daerah Spectral Untuk Tanah Gundul Kering, Vegetasi Hijau, Air Jernih , Aspal Dan Beton (Smith 2001 dan Herold et all 2003)**

Citra Landsat dengan resolusi spasial dan temporal berguna untuk pemantauan banjir musiman dan pemantauan banjir jangka panjang. Beberapa metode yang tersedia pada tabel 1 diterapkan pada band Landsat NIR untuk menggambarkan daerah banjir. Satu satunya kelemahan dari Band NIR adalah ketidakmampuan untuk membedakan area air dan area paving, karena permukaan paving dan permukaan air memantulkan energi yang sangat rendah dalam spectrum elektromagnetik (EM) NIR. Karena ketidakmampuan untuk membedakan air dan area paving, NIR tidak dapat digunakan secara optimal untuk area berkembang (Q. Wang et al., 2003). Penelitian tentang pemetaan luas banjir di North California (Q. Wang et al., 2003) menunjukkan cara yang efisien untuk memecahkan masalah ini. Mereka menambahkan band TM 7 MIR (2.08 – 2.35  $\mu\text{m}$  Mid Infrared) dengan band TM4 NIR karena reflektansi dari permukaan paving berbeda dengan air pada band MIR. Jika nilai gabungan kedua band tersebut rendah mereka mengklasifikasikannya sebagai air, sebaliknya akan diklasifikasikan sebagai daerah kering atau non air.

**Tabel 1. Reflektansi air, Aspal (permukaan jalan, bangunan dll) serta area non air atau area kering pada citra TM 4 dan TM7**

	TM 4	TM 7	TM4 + TM7
Water	Low	Low	Low
Asphalt pavement	Low	Moderate	Moderate
Other dry area	High	High	High

Penginderaan jauh optic resolusi spasial kasar seperti NOAA, AVHRR dan NASA, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), SSM/I dan MOS/SMR juga digunakan untuk orbit pendek. (Sheng et al., 2001) mengidentifikasi 4 masalah penting untuk keberhasilan pemantauan banjir dengan AVHRR yaitu identifikasi yang benar tentang water bodies, pengurangan kontaminasi awan yang efektif, mendeteksi perluasan area banjir secara akurat, dan pemantauan dinamis dari proses banjir. Banyak penelitian sejak tahun 1970an berhasil memetakan luas banjir menggunakan VHRR dan SVHRR contohnya pemetaan banjir sungai missisipi (Wiesnet et al., 1974), sungai perluasan banjir di Bangladesh (M. M. Islam & Sado, 2002). Gambar bebas awan sangatlah penting selama kejadian banjir dan resolusi temporal yang tinggi sangat dimungkinkan untuk mendapatkan citra AVHRR bebas awan. (Sheng et al., 2001) metode pengurangan kontaminasi awan untuk tutupan awan tipis dan menyimpulkan bahwa tidak ada metode yang dapat menghilangkan kontaminasi awan tebal. Perbandingan citra sebelum dan sesudah banjir telah digunakan dalam pemetaan banjir Lahor dan DAS sungai Songhua. (Barton & Bathols, 1989) menerapkan pendekatan yang sangat berbeda dengan menggunakan gambar AVHRR malam hari untuk memantau banjir Sungai Darling 1988 di Australia berdasarkan prinsip bahwa radiasi dari air dan lahan kering berbeda. Tetapi analisa temperature tidak efisien selama musim hujan pada saat musim panas ketika tidak ada perbedaan temperature yang signifikan antara tanah dan air dalam kondisi mendung (Sheng et al., 2001). Estimasi kedalaman genangan juga merupakan komponen yang penting dari pemantauan banjir. Selain dari pemetaan luas banjir, (M. D. M. Islam, 2001) menilai kedalaman banjir dari citra AVHRR mencitrakan secara sederhana perbedaan tonal banjir berdasarkan prinsip bahwa air yang lebih dalam menunjukkan albedo yang lebih rendah (M. M. Islam & Sado, 2002).

Alternatif lain dalam pemetaan banjir adalah citra MODIS resolusi kasar dengan resolusi temporal tinggi. Sejak peluncuran satelit MODIS tahun 1999, banyak penelitian telah menunjukkan kegunaannya dalam pemantauan banjir termasuk deteksi perubahan temporal

banjir tahunan di Delta Mekong (Sakamoto et al., 2007), perubahan genangan di danau Poyong (Feng et al., 2012), deteksi banjir di Thailand (Zhan et al., 2002), peta genangan banjir di Bangladesh (A. S. Islam et al., 2010). Pengamatan banjir Darmouth juga menggunakan data MODIS untuk memantau bencana banjir di seluruh dunia. Ada empat keuntungan menggunakan data MODIS untuk pemetaan banjir seperti yang disebutkan (A. S. Islam et al., 2010): ketersediaan data time series selama periode banjir, ketersediaan data secara global, akses data melalui unduhan internet gratis dan akurasi data. Mereka juga menunjukkan resolusi kasar citra MODIS 500 m dapat membuat peta genangan banjir yang serupa dengan RADARSAT yang mempunyai resolusi spasial yang tinggi (50m). (Li et al., 2011) dan (A. S. Islam et al., 2010) mengklaim hampir 95% akurasi pemantauan banjir berbasis MODIS. Penerapan citra resolusi spasial tinggi seperti IKONOS atau SPOT 5 belum begitu populer dalam manajemen banjir karena biaya tinggi dan cakupan yang rendah sehingga tidak optimal untuk manajemen banjir di area yang luas. Namun jika citra ini tersedia dengan harga yang wajar penggunaan gambar resolusi spasial tinggi ini mungkin akan populer untuk pemantauan banjir wilayah perkotaan yang kecil.

Berbagai pendekatan telah digunakan untuk pemetaan banjir sejak tahun 1970 an (tabel 2). Beberapa penelitian menggunakan data cahaya tampak atau infrared untuk memetakan luasan banjir. Pendekatan sederhana dan lugas adalah interpretasi visual citra sebelum dan sesudah banjir (Blasco et al., 1992). Genangan air yang dalam mempunyai representasi citra dengan jelas tetapi air yang dangkal atau keruh bisa terjadi kesalahan representasi. Interpretasi visual bersifat subjektif dan tidak optimal untuk pemetaan banjir area yang luas. Range density slicing untuk infrared mulai mendekati nol yang berarti bahwa pixel air adalah bagian tergelap dalam gambar. Rasio image two band (Chormanski et al., 2011), image addition (Y. Wang et al., 2002), and image subtraction (Xiao and Chen 1987) juga telah digunakan secara luas dalam deteksi banjir. Rasio image mempunyai hasil yang lebih bagus dari image subtraction. Pendekatan kuantitatif multiband seperti NVDI (Rogers & Kearney, 2014), NDWI (McFeeters, 1996) dan LSWI (Xiao et al., 2015) telah digunakan untuk pemetaan genangan banjir. Pendekatan NVDI meminimalkan pantulan NIR yang rendah dari fitur air dan memanfaatkan reflektansi NIR yang tinggi dari vegetasi darat dan tanah. Sehingga fitur air memiliki nilai positif dan tanah atau vegetasi mempunyai nilai negative (Jain et al., 2015).

Ada beberapa tantangan dalam penggunaan citra optik untuk pemantauan banjir yaitu tutupan awan karena sebagian besar daerah tropis memiliki tutupan awan yang tinggi selama musim hujan. Masalah terbesar dari sensor optik adalah ketidakmampuannya untuk mengambil gambar permukaan bumi dalam kondisi mendung. Sensor optik juga tidak bisa menembus pohon sehingga tidak maksimal dalam memantau banjir di bawah rimbunan pohon. Beberapa bagian dunia seperti Bangladesh terlibat dalam kegiatan pertanian selama banjir. Sawah yang terendam banjir akan sulit dideteksi menggunakan penginderaan jauh optik. Namun terlepas dari keterbatasan ini, cakupan global dan orbit satelit yang beroperasi pada daerah optic spectrum elektromagnetik membuat sistem ini berguna untuk pemantauan banjir.

Beberapa penelitian menunjukkan adanya tutupan awan pada saat musim hujan (G. J. P. Schumann & Moller, 2015) dan ketidakmampuan dalam membuat peta banjir dibawah rimbun pohon (Wilson et al., 2007) yang menghalangi penginderaan jauh optik untuk memantau banjir. Kemampuan penetrasi awan dan pepohonan, frekwensi dari gelombang microwave merupakan daya tarik bagi ilmuwan dalam pemantauan banjir. Penggunaan Sintetik Aperture Radar (SAR) dan citra spectrometer dengan banyak kemampuan pencitraan yang berbeda menciptakan peluang untuk manajemen resiko banjir terkait dengan tutupan lahan (Henry et al., 2006). (G. Schumann et al., 2009) juga menyebutkan bahwa peningkatan signifikan dalam teknik penginderaan jauh SAR dan kinerja komputasi tinggi dapat

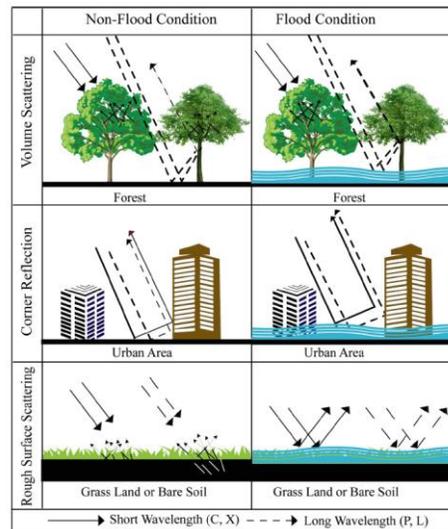
meningkatkan pemodelan distribusi banjir. Air bertindak sebagai reflector radiasi gelombang mikro dan tampak gelap dalam citra radar.

**Tabel 2. Summary Penginderaan Jauh Optik dalam Monitoring Banjir**

Satellite/ sensor	Spatial resolution	Temporal resolution	Methods used	Sources
Landsat	MSS 80 m	18 days	Band addition	Wang et al. (2002)
	TM 30 m	18 days	Band ratio	Chormanski et al. (2011)
	ETM 30 m	16 days	Normalized difference vegetation index (NDVI)	Jain et al. (2005)
	OLI 30 m	16 days	Principle component analysis (PCA) Density slicing Tasseled Cap Transformation	
SPOT	20 m	2.5 days	Visual image interpretation	Blasco et al. (1992)
	10 m		Density slicing NDVI PCA	Michener and Houhoulis (1997)
IRS	23–70 m	5 days	Density slicing NDVI, NDWI	Jain et al. (2005)
AVHRR	1.1 km	6 h	Slicing with threshold value Image difference Image ratio Temperature model	Sheng et al. (2001)
MODIS	250–500 m	1–2 days	NDVI, NDWI	Islam et al. (2010)
			Enhanced vegetation index (EVI)	Hu (2009)
			Land surface water index (LSWI) Floating algae index (FAI)	

Beberapa kendala juga muncul selama pemantauan banjir yang menggunakan citra radar seperti efek angin di perairan terbuka, pantulan ganda dari banjir di bawah pohon, efek bayangan di daerah pegunungan, dan refleksi banjir perkotaan. Backscatter dari frequency microwave sebagian besar dipengaruhi oleh sifat geometris benda sehingga air tampak gelap karena pantulan rendah. Namun saat permukaan air tidak datar tetapi dipengaruhi oleh kondisi angin dan arus sungai, pantulan air dapat muncul dengan warna abu yang berbeda sehingga sulit untuk memisahkan air dari tutupan lahan lain (Henry et al., 2006). Beberapa penelitian membahas masalah ini dan menemukan bahwa polarisasi yang berbeda dapat membantu mengurangi masalah ini. (Henry et al., 2016) meneliti perbedaan data polarisasi Advance Synthetic Aperture Radar (ASAR) dan menyimpulkan bahwa air lebih mudah diidentifikasi dengan data terpolarisasi seperti (HH, VV) daripada persilangan polarisasi (HV-VH), tetapi polarisasi VV sangat sensitive terhadap kekasaran permukaan air. Mereka juga menyarankan bahwa polarisasi HV dapat meningkatkan hasil dari polarisasi HH. Hal ini merupakan kontribusi penting untuk deteksi banjir. Dengan demikian, pemetaan genangan banjir di bawah kanopi pohon akan lebih bagus dengan P-band (gambar 2.2)

Tantangan lain dalam penerapan frekwensi gelombang mikro untuk pemetaan banjir adalah kesulitan pemetaan banjir di daerah perkotaan dan pemukiman pedesaan, karena tingginya hamburan balik bangunan dan pantulan sudut dari air banjir. Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan telah dicapai menggunakan sinyal SAR X-Band beresolusi sangat tinggi untuk membedakan gedung, jalan dan bangunan lainnya (Ferro et al., 2011). SAR tidak cocok untuk pemetaan banjir di wilayah perkotaan karena pantulan sudut dan resolusi permukaan tanah yang kasar (G. Schumann et al., 2009). Namun sejak peluncuran Satelit TerraSAR pada tahun 2007, beberapa penelitian tentang deteksi banjir di daerah perkotaan dari citra SAR resolusi spasial tinggi telah dilakukan (G. J. P. Schumann & Moller, 2015)



**Gambar 2.2 Ilustrasi Mekanisme Backscatter Radar untuk Panjang Gelombang Pendek (C, X) dan Panjang (P, L) untuk kondisi banjir dan non banjir**

### KESIMPULAN

Banjir adalah salah satu bencana alam yang paling kompleks karena skala temporal dan spasial yang luas. Dengan demikian penerapan data penginderaan jauh dalam pengelolaan banjir pada skala spasial dan temporal sangat bermanfaat. Tantangan utama adalah pemilihan data dan metode yang tepat untuk berbagai tahap pengelolaan banjir. Berbagai macam pendekatan dan pilihan data yang diterapkan dalam pengelolaan banjir di lokasi geografis yang berbeda telah dibahas di bagian sebelumnya. Diskusi ini membawa beberapa fakta penting tentang penerapan penginderaan jauh dalam pengelolaan banjir. Banyak penelitian menggunakan gambar optik untuk memantau banjir, namun penerapan gambar optik dibatasi oleh kondisi cuaca buruk. Banyak ilmuwan menerapkan data dari spektrum gelombang mikro untuk mengatasi keterbatasan ini, namun penerapan citra radar dalam deteksi banjir merupakan tantangan di daerah pegunungan, situasi berangin dan perkotaan, serta di daerah di bawah tutupan kanopi. Banyak ilmuwan menerapkan metode yang berbeda seperti indeks basah, NDWI dan NDVI atau metodologi yang lebih canggih untuk mengatasi keterbatasan data penginderaan jauh. Dalam beberapa tahun terakhir, para ilmuwan bergerak maju ke pendekatan gabungan untuk pemetaan banjir untuk memanfaatkan penginderaan jauh optik dan gelombang mikro. Daerah banjir dapat digambarkan secara langsung dari citra penginderaan jauh yang merupakan aplikasi langsung citra satelit dalam pengelolaan banjir. Namun, produk turunan dari citra satelit seperti DEM dan tutupan lahan digunakan untuk prakiraan banjir dan kerusakan. Informasi tematik yang diambil dari citra penginderaan jauh seperti DEM dan tutupan lahan telah digunakan sebagai input model atau sebagai parameter model dalam model prakiraan banjir dan penilaian kerusakan. Namun, sebagian besar studi tidak dapat mencapai akurasi yang diinginkan karena resolusi spasial kasar DEM yang berasal dari satelit. Pertimbangan penting lainnya dari sebagian besar studi banjir waktu temporal satelit yang cukup lama yang mungkin berguna untuk banjir regional jangka panjang. Pemantauan banjir berumur pendek, seperti banjir bandang, memerlukan data dengan resolusi temporal tinggi yang dapat diarsipkan melalui data AVHRR atau MODIS resolusi kasar. Namun, luasan spasial dari banjir bandang tersebut kecil dan terkadang di lingkungan perkotaan yang kompleks membutuhkan resolusi spasial yang tinggi yang tidak mungkin dicapai dengan platform temporal yang lama. Sebagian besar pendekatan pemetaan banjir menggunakan data penginderaan jauh bersifat standalone, baik mencari luasan banjir, prakiraan atau penilaian

kerusakan. Untuk itu perlu dibuat strategi pengelolaan banjir yang komprehensif. Para ilmuwan menginginkan data yang lebih akurat dan tepat, tetapi biayanya harus optimal, terutama bagi banyak negara berkembang. Dengan demikian, tingginya harga data radar atau data resolusi spasial yang bagus serta cakupan yang terbatas di area ini mungkin menjadi tantangan bagi sebagian besar negara berkembang. Penting untuk meneliti lebih lanjut strategi pengelolaan banjir yang murah namun efektif untuk negara-negara berkembang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD). (2013). *Disaster Management Plan of DKI Jakarta Province 2013-2017*. 50–63.
- Bappenas. (2007). *Laporan Perkiraan Kerusakan dan Kerugian Pasca Bencana Banjir Awal Februari 2007 di Wilayah JABODETABEK*. 2007, 63.
- Borga, M., Anagnostou, E. N., Blöschl, G., & Creutin, J. D. (2011). Flash flood forecasting, warning and risk management: The HYDRATE project. *Environmental Science and Policy*, 14(7), 834–844. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.05.017>
- Chormanski, J., Okruszko, T., Ignar, S., Batelaan, O., Rebel, K. T., & Wassen, M. J. (2011). Flood mapping with remote sensing and hydrochemistry: A new method to distinguish the origin of flood water during floods. *Ecological Engineering*, 37(9), 1334–1349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.03.016>
- Feng, L., Hu, C., Chen, X., Cai, X., Tian, L., & Gan, W. (2012). Assessment of inundation changes of Poyang Lake using MODIS observations between 2000 and 2010. *Remote Sensing of Environment*, 121, 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.014>
- Ferro, A., Brunner, D., Bruzzone, L., & Lemoine, G. (2011). On the relationship between double bounce and the orientation of buildings in VHR SAR images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(4), 612–616. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2010.2097580>
- Govender, M., Chetty, K., & Bulcock, H. (2007). A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. *Water SA*, 33(2), 145–151. <https://doi.org/10.4314/wsa.v33i2.49049>
- Hong, Y., Adler, R. F., Hossain, F., Curtis, S., & Huffman, G. J. (2007). A first approach to global runoff simulation using satellite rainfall estimation. *Water Resources Research*, 43(8). <https://doi.org/10.1029/2006WR005739>
- Hossain, F., Siddique-E-Akbor, A. H. M., Yigzaw, W., Shah-Newaz, S., Hossain, M., Mazumder, L. C., Ahmed, T., Shum, C. K., Lee, H., Biancamaria, S., Turk, F. J., & Limaye, A. (2014). Crossing the “valley of Death”: Lessons learned from implementing an operational satellite-based flood forecasting system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(8), 1201–1207. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00176.1>
- Islam, A. S., Bala, S. K., & Haque, M. A. (2010). Flood inundation map of Bangladesh using MODIS time-series images. *Journal of Flood Risk Management*, 3(3), 210–222. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2010.01074.x>
- IKucera, P. A., Ebert, E. E., Turk, F. J., Levizzani, V., Kirschbaum, D., Tapiador, F. J., Loew, A., & Borsche, M. (2013). Precipitation from space: Advancing earth system science. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(3), 365–375. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00171.1>

- Li, B., Yan, Q., & Zhang, L. (2011). Flood monitoring and analysis over the middle reaches of Yangtze River basin using MODIS time-series imagery. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 807–810. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2011.6049253>
- RRokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., & Hazini, S. (2014). Water feature extraction and change detection using multitemporal landsat imagery. *Remote Sensing*, 6(5), 4173–4189. <https://doi.org/10.3390/rs6054173>
- Sakamoto, T., Van Nguyen, N., Kotera, A., Ohno, H., Ishitsuka, N., & Yokozawa, M. (2007). Detecting temporal changes in the extent of annual flooding within the Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta from MODIS time-series imagery. *Remote Sensing of Environment*, 109(3), 295–313. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.01.011>
- SaSchumann, G., Bates, P. D., Horritt, M. S., Matgen, P., & Pappenberger, F. (2009). Progress in integration of remote sensing-derived flood extent and stage data and hydraulic models. *Reviews of Geophysics*, 47(3), 1–20. <https://doi.org/10.1029/2008RG000274>
- Schumann, G. J. P., & Moller, D. K. (2015). Microwave remote sensing of flood inundation. *Physics and Chemistry of the Earth*, 83–84, 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.05.002>
- Sikder, M. S., & Hossain, F. (2015). Understanding the geophysical sources of uncertainty for satellite interferometric (SRTM)-based discharge estimation in river deltas: The case for Bangladesh. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(2), 523–538. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2326893>
- Tarekegn, T. H., Haile, A. T., Rientjes, T., Reggiani, P., & Alkema, D. (2010). Assessment of an ASTER-generated DEM for 2D hydrodynamic flood modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(6), 457–465. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.05.007>
- Thomas, R. F., Kingsford, R. T., Lu, Y., & Hunter, S. J. (2011). Landsat mapping of annual inundation (1979-2006) of the Macquarie Marshes in semi-arid Australia. *International Journal of Remote Sensing*, 32(16), 4545–4569. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.489064>
- Wilson, M. D., Bates, P., Alsdorf, D., Forsberg, B., Horritt, M., Melack, J., Frappart, F., & Famiglietti, J. (2007). Modeling large-scale inundation of Amazonian seasonally flooded wetlands. *Geophysical Research Letters*, 34(15), 4–9. <https://doi.org/10.1029/2007GL030156>
- Wu H, Adler RF, Tian Y, Huffman GJ, Li H, W. J. (2014). Real-time global flood estimation using satellite-based precipitation and a coupled land surface and routing model. *Water Resour Res*, 2693–2717.
- Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D., Froking, S., Li, C., Salas, W., & Moore, B. (2005). Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 95(4), 480–492. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.009>