

## ANALISIS DAERAH POTENSI BANJIR DI INDONESIA BERBASIS PENGINDERAAN JAUH

Any Zubaidah<sup>1)</sup> dan Indah Prasasti<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Peneliti, PUSFATJA

email: baidah\_any@yahoo.com, septian\_5990@yahoo.com

### Abstract

*Flood is one of natural disasters that almost occur in every rainy season. Monitoring methods for potentially flooded areas were developed by utilizing MTSAT-1R remote sensing data. Then, the data are integrated with floodwaters maps. This study has two aims. First, It is aimed to analyze the distribution pattern of potentially flooded areas based on the monitoring of data MTSAT-1R during 2010 – 2011. Second, It is aimed to get the information accuracy level of potential flooding in some locations in 2011. The results of MTSAT-1R data analysis concluded that the pattern of distribution of detectable potentially flooded areas follow the existing pattern of rainfall and ongoing in Indonesia. Its variety is influenced by weather conditions in their respective areas of Indonesia. Information of potentially flooded area which is derived from MTSAT-1R data is good and has a 79.03% accuracy rate.*

**Keywords:** Remote Sensing, MTSAT-1R, Rainfall, Flood.

### Abstrak

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang hampir selalu terjadi pada setiap musim penghujan. Metode pemantauan untuk daerah berpotensi banjir dikembangkan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh MTSAT-1R. Data tersebut diintegrasikan dengan peta genangan banjir. Penelitian ini memiliki dua tujuan. Pertama, dimaksudkan untuk menganalisis pola sebaran daerah berpotensi banjir berdasarkan pantauan data MTSAT-1R selama tahun 2010 – 2011. Yang kedua, dimaksudkan untuk mendapatkan tingkat ketepatan informasi potensi banjir di beberapa lokasi kejadian banjir tahun 2011. Hasil analisis data MTSAT-1R menyimpulkan bahwa pola sebaran wilayah yang terdeteksi berpotensi banjir mengikuti pola curah hujan yang ada dan tengah berlangsung di Indonesia. Keragamannya dipengaruhi oleh kondisi cuaca di masing-masing wilayah Indonesia. Informasi daerah berpotensi banjir yang diturunkan dari data MTSAT-1R cukup baik dan mempunyai tingkat ketepatan 79.03%.

**Kata Kunci :** Penginderaan Jauh, MTSAT-1R, Curah Hujan, Banjir.

---

### 1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang hampir selalu terjadi pada setiap datangnya musim penghujan. Banjir dapat berdampak pada rusaknya sarana dan prasarana, terganggunya aktivitas manusia, kerugian dan kerusakan harta benda, longsor, terputusnya jalur transportasi, terganggunya kesehatan, dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi dampak yang lebih besar diperlukan sistem pemantauan cuaca yang dapat memberikan peringatan dini pada wilayah-wilayah yang berpotensi banjir.

---

Hujan lebat atau hujan dengan intensitas tinggi merupakan penyebab terbesar terjadinya banjir atau genangan, terutama pada daerah-daerah dengan kondisi permukaan yang rawan terhadap banjir. Potensi hujan lebat dapat diestimasi menggunakan data satelit cuaca berdasarkan suhu puncak awan (*cloud top temperature (Tct)*), seperti yang pernah dilakukan oleh Price *et al.* (1994 dalam Haryani *et al.*, 2011). Menurut Price *et al.* (1994 dalam Haryani *et al.*, 2011), potensi hujan berdasarkan suhu puncak awan dapat diklasifikasi menjadi empat kelas, yaitu: Hujan Lebat ( $Tct < 198^{\circ}K$ ), Hujan Sedang ( $198^{\circ}K \leq Tct < 226^{\circ}K$ ), Hujan Ringan ( $226^{\circ}K \leq Tct < 253^{\circ}K$ ), dan Cerah ( $Tct \geq 253^{\circ}K$ ). Namun Haryani *et al.* (2011) dalam laporan kegiatan bidang lingkungan dan mitigasi bencana menggunakan nilai ambang  $-25^{\circ}C$  atau setara dengan  $248^{\circ}K$  dengan cara *trail and error* sebagai klasifikasi potensi hujan lebat dengan tingkat akurasi 84.87%.

Ada beberapa metode pendekatan yang digunakan dalam pemetaan banjir, yakni: pendekatan hidrologis, meteorologis, dan geomorfologis. Faktor meteorologis utama yang menyebabkan banjir adalah hujan torensial (*torrential rain*, yaitu hujan deras yang sangat lebat yang menyebabkan banjir), distribusi hujan dan durasi hujan. Siklon tropis juga dapat mempengaruhi sistem cuaca di Indonesia, terutama peningkatan per-awanan, curah hujan, angin dan gelombang laut. Selain itu, awan konvektif jenis cumulus banyak muncul karena Indonesia merupakan daerah konveksi aktif. Jika awan cumulus ini tumbuh menjadi Cumulonimbus dalam sistem cuaca lokal maka akan menghasilkan hujan deras dan terjadinya petir. Hujan deras ini sering menimbulkan banjir lokal dalam waktu yang relatif singkat. Pendekatan hidro-meteorologis seringkali terkendala terbatasnya ketersediaan dan keakuratan data meteorologi (misalnya: curah hujan) dan hidrologi (misalnya: data debit) untuk pengembangan model banjir, sedangkan pendekatan geomorfologis tidak cukup tepat dan efektif (Wolman 1971 dan Lastra *et al.* 2008 dalam Ho *et al.* 2010). Pendekatan geomorfologis tidak efektif dikarenakan kajian karakteristik geomorfologi daerah banjir memerlukan data foto udara, survei lapangan di beberapa wilayah banjir serta data kejadian banjir sebelumnya (Kingma 2003 dalam Ho *et al.* 2010).

Analisis banjir dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan analisis karakteristik suhu awan yang berpotensi hujan lebat yang diklasifikasikan berdasarkan suhu puncak awannya dan diintegrasikan dengan peta genangan banjir yang terjadi di beberapa wilayah. Estimasi peluang hujan lebat harian diturunkan dari data MTSAT-IR (*Multi-functional Transport Satellite-IR Replacement*). Hasil dari integrasi ini akan diperoleh informasi spasial daerah berpotensi banjir secara harian.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola sebaran daerah berpotensi banjir berdasarkan pantauan data MTSAT selama tahun 2010 – 2011 dan mendapatkan tingkat ketepatan informasi potensi banjir di beberapa lokasi kejadian banjir tahun 2011.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Data

Data inderaja yang digunakan adalah data MTSAT-1R per jam-an tahun 2010 dan 2011 dengan resolusi 5 km yang diperoleh dari website milik Tokyo University pada situs <http://weather.is.kochi-u.ac.jp/sat/Game/>. Data pendukung lain yang digunakan adalah data DEM (*Digital Elevation Model*) yang diturunkan dari data SRTM dengan resolusi 30 meter, peta administrasi bentuk digital untuk wilayah Indonesia, data kejadian banjir di beberapa lokasi di Indonesia. Data kejadian banjir diperoleh dari BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) dan dari Media.

### 2.2 Metode

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan pengolahan data. Semua tahapan analisis disajikan secara ringkas dalam bagan alir Gambar 1.

Konversi nilai digital menjadi nilai radian menggunakan persamaan 1. Berdasarkan *the Meteorological Satellite Center Technical Note-JMA* (2009), Kurino (2008) menyatakan bahwa radian MTSAT mempunyai hubungan linier dengan radian hyper sounder dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Radian (MTSAT)} = C_0 + C_1 \times \text{Radiance (hyper sounder)} \dots \dots \dots (1)$$

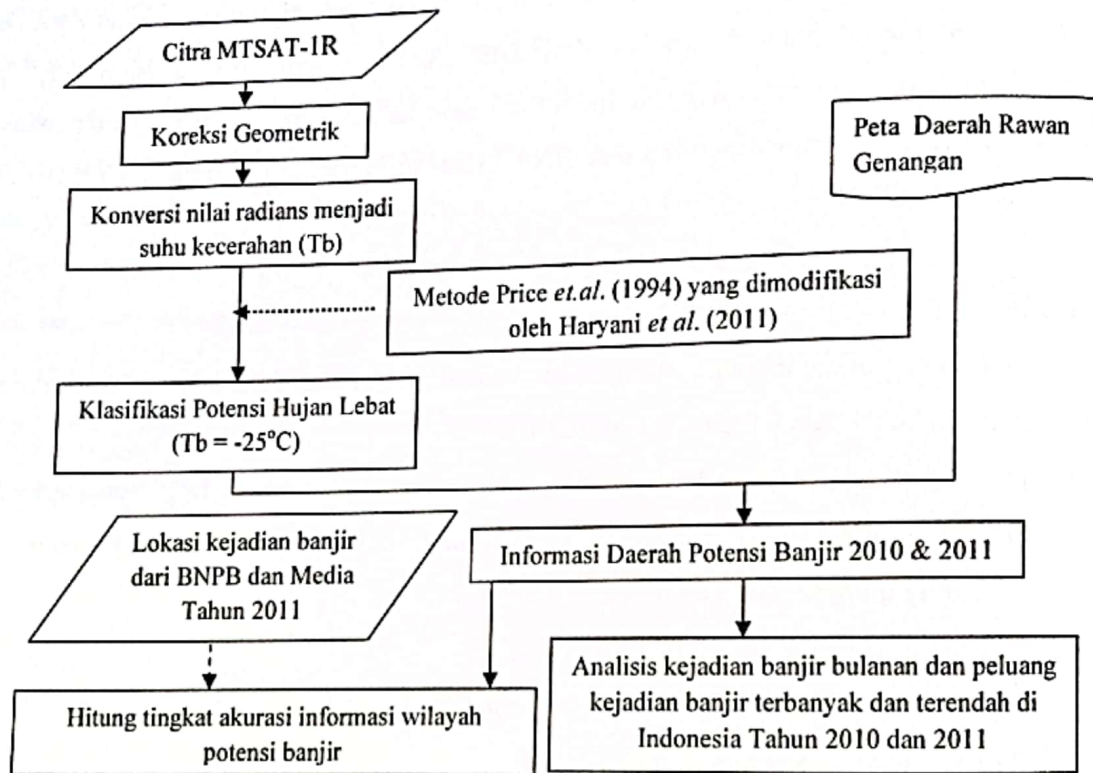
dengan  $C_0$  dan  $C_1$  adalah koefisien regresi, radian dalam satuan  $\text{mW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{cm}$ . Selanjutnya dilakukan konversi nilai radian menjadi suhu kecerahan ( $T_b = \text{brightness temperature}$ ) menggunakan rumus *Planck* sebagai berikut:

$$B_i(T_b) = \frac{2hc^2v_i^3}{\pi^2 \left( \frac{hc v_i}{k} + a_{2i} T_b \right)} \dots \dots \dots (2)$$

dengan  $B_i$ : sensor *planck function* dari kanal  $i$ ;  $T_b$ : suhu kecerahan;  $v_i$ : panjang gelombang tengah dari kanal  $i$ ;  $a_{1i}$  dan  $a_{2i}$ : koefisien korelasi untuk kanal  $i$ ;  $h$ : konstanta Planck;  $k$ : konstanta Boltzman;  $c$ : kecepatan cahaya. Adapun koefisien koreksi dan panjang gelombang tengah untuk setiap kanal MTSAT-1R disajikan pada Tabel 1. Kemudian dilakukan klasifikasi suhu puncak awan dari  $T_b$  menggunakan metode Price *et al.* (1994) yang telah dimodifikasi oleh Haryani *et al.* (2011) dengan

nilai ambang (*threshold*) suhu  $-25^{\circ}\text{C}$  atau setara dengan  $248\text{ }^{\circ}\text{K}$  sebagai suhu puncak awan berpotensi hujan lebat dan banjir.

Setelah itu dilakukan pengintegrasian antara hasil klasifikasi potensi hujan lebat dengan peta lokasi daerah rawan genangan informasi untuk mendapatkan informasi daerah berpotensi banjir. Kemudian dilakukan analisis kejadian banjir bulanan dan peluang kejadian banjir terbanyak dan terendah untuk tahun 2010 dan 2011 untuk mendapatkan pola potensi banjir masing-masing wilayah. Tahap selanjutnya menentukan nilai tingkat akurasi informasi potensi banjir dari satelit selama tahun 2011.



Gambar 1. Diagram alir metode potensi banjir harian

Tabel 1. Faktor koreksi dan panjang gelombang tengah kanal MTSAT-1R

Kanal MTSAT-1R	Bilangan Gelombang ( <i>Wave number</i> ) $\nu$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	Koefisien koreksi kanal ( <i>band correction coefficient</i> )	
		$a_1$	$a_2$
IR1 ( $10.8\ \mu\text{m}$ )	926.6118	0.3592380	0.9987587
IR2 ( $12.0\ \mu\text{m}$ )	833.1675	0.1968675	0.9992525
IR3 ( $6.8\ \mu\text{m}$ )	1482.2068	0.3785336	0.9991187
IR4 ( $3.8\ \mu\text{m}$ )	2652.9316	2.3474427	0.9969755

Sumber: The Meteorological Satellite Center Technical Note-JMA (2009)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Estimasi Awan Berpeluang Hujan Lebat dan Potensi Tergenang Banjir Harian dari data MTSAT-1R.

Estimasi awan berpeluang hujan lebat dibangun berdasarkan akumulasi data MTSAT-1R 1 jam-an selama 24 jam per hari. Gambar 2 memperlihatkan contoh hasil tumpang-susun antara citra klasifikasi potensi hujan lebat dari data MTSAT-1R dengan peta daerah genangan yang telah dimodifikasi pada tanggal 30 April 2011.

Daerah berpotensi hujan lebat ditunjukkan oleh sebaran daerah warna putih yang tampak menutupi sebagian besar wilayah P. Sumatera, di beberapa bagian di Jawa tengah, sebagian kecil Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah, sebagian di wilayah Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara, dan sebagian di wilayah kepala burung Irian Jaya. Jika daerah potensi hujan lebat ini ditumpang-susunkan dengan peta daerah genangan (ditunjukkan dengan warna biru) maka diperoleh wilayah potensi tergenang banjir harian dari data MTSAT-1R (warna merah).



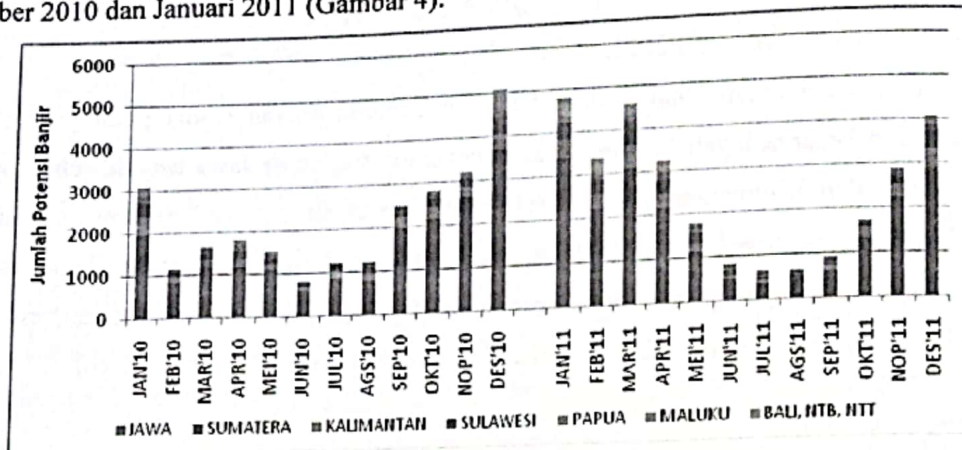
Gambar 2. Informasi potensi daerah tergenang banjir di Indonesia tanggal 30 April 2011

#### 3.2. Analisis Potensi Banjir Harian berdasarkan data MTSAT-1R

Berdasarkan hasil rekapitulasi jumlah potensi kejadian banjir di wilayah Indonesia tahun 2010 dan 2011 menunjukkan bahwa P. Jawa merupakan wilayah dengan jumlah potensi kejadian banjir tertinggi terjadi pada bulan-bulan musim hujan tahun 2010 dan 2011. P. Sumatera menempati urutan kedua terbanyak setelah P. Jawa. Potensi kejadian banjir paling sedikit sepanjang tahun 2010 dan 2011 adalah Kepulauan Maluku (Gambar 3).

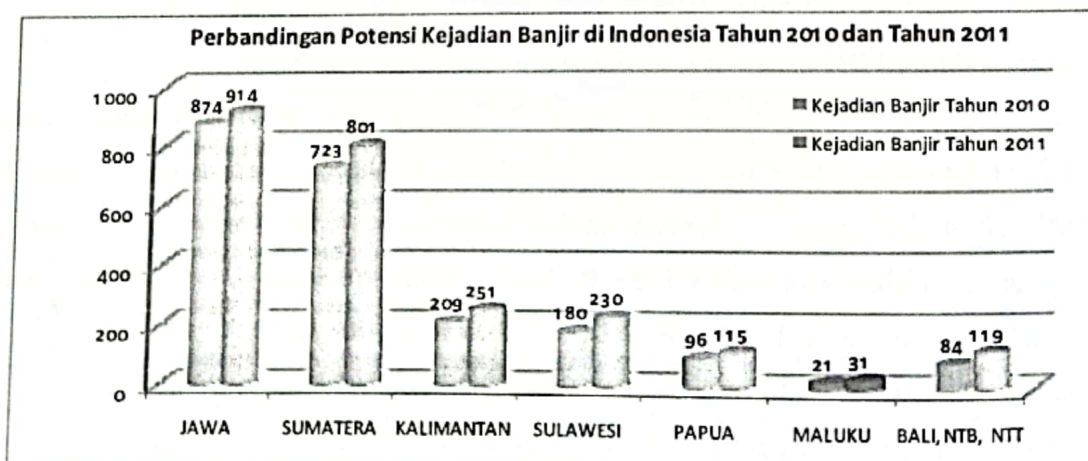
Pada tahun 2010 di P. Jawa, potensi kejadian banjir terbanyak pada bulan Desember 2010 dengan jumlah 2.445 titik lokasi potensi banjir dan terendah pada bulan-bulan musim kemarau (Juli, Juli, Agustus). Sementara itu pada tahun 2011, potensi kejadian banjir tertinggi terjadi pada bulan Januari 2011 sebanyak 2.244 titik lokasi potensi banjir dan terendah pada (Juni, Juli, Agustus, dan

September). Berdasarkan hasil pemantauan pada periode tahun 2010 sampai 2011 menunjukkan bahwa umumnya potensi kejadian banjir cenderung meningkat pada bulan-bulan musim penghujan seiring dengan makin meningkatnya curah hujan. Dari tahun 2010 dan 2011 terlihat pula bahwa potensi kejadian banjir mulai meningkat (lebih dari 1.000 titik lokasi berpotensi banjir) dari bulan September 2010 berakhir hingga bulan April 2011 dengan puncak kejadian banjir pada bulan Desember 2010 dan Januari 2011 (Gambar 4).



Gambar 3. Sebaran potensi banjir bulanan di wilayah Indonesia tahun 2010 dan 2011

Di P. Sumatera, dari hasil pemantauan selama tahun 2010 hingga 2011 terlihat bahwa wilayah potensi banjir cenderung terus meningkat pada bulan-bulan musim hujan, tetapi pada bulan-bulan musim kemarau masih terdeteksi daerah yang berpotensi banjir dengan jumlah yang lebih sedikit dibandingkan pada musim kemarau. Apabila dibandingkan dengan P. Jawa dan Sumatera, maka rata-rata potensi banjir bulanan di wilayah lain di P. Kalimantan, P. Sulawesi, Papua, Bali dan NTT, dan Maluku relatif lebih rendah, yakni kurang dari 200 lokasi potensi banjir (Gambar 4).



Gambar 4. Perbandingan Jumlah potensi kejadian banjir rata-rata bulanan di Indonesia tahun 2010 dan 2011

### 3.3. Analisis Pola Potensi Banjir dari MTSAT-1R

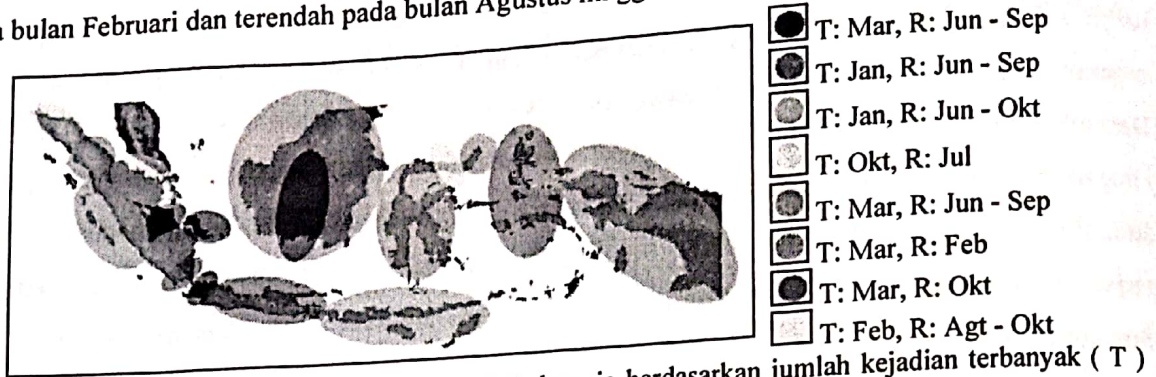
Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah tidak membedakan awan berdasarkan tinggi rendah dan atau jenis awan, hanya pada suhu awan penghasil hujan lebat. Berdasarkan hasil pemantauan potensi banjir harian tahun 2010 dan 2011 dilakukan analisis pola sebaran potensi banjir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Pada tahun 2010 menunjukkan bahwa sebaran daerah potensi banjir di P. Jawa, Bali, NTB, dan NTT paling sering terjadi pada bulan Desember dan terendah pada bulan Agustus. Sementara itu, potensi banjir tertinggi di Kalimantan kecuali Provinsi Kalimantan Timur, dan Papua terjadi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Juli. Potensi banjir di Provinsi NAD, Sumatera Utara, Sumatera Barat, dan Bengkulu tertinggi terjadi pada bulan November dan terendah pada bulan Februari, sedangkan di Provinsi Jambi, Sumatera Selatan, Lampung, dan Sulawesi Selatan tertinggi terjadi pada bulan Desember dan terendah pada bulan Juni. Di Sulawesi (kecuali Sulawesi Selatan dan Sulawesi Utara), Provinsi Riau, Bangka Belitung, dan Kalimantan Timur, potensi banjir tertinggi terjadi pada bulan Desember dan terendah pada bulan Februari. Potensi banjir tertinggi di Provinsi Sulawesi Utara terjadi pada bulan Juli dan terendah pada bulan September, sedangkan di Maluku Utara tertinggi terjadi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Februari (Gambar 5).



**Gambar 5.** Pola potensi banjir di seluruh wilayah Indonesia berdasarkan jumlah kejadian terbanyak ( T ) dan terendah ( R ) hasil deteksi data MTSAT-1R tahun 2010

Pola potensi banjir harian tahun 2011 memperlihatkan bahwa Pulau Jawa (kecuali Banten dan DKI Jakarta) dan Provinsi Lampung mempunyai jumlah potensi banjir paling sering terjadi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Juni hingga September. Potensi banjir tertinggi di Bali, NTB, dan NTT terjadi pada bulan Januari dan semakin menurun jumlahnya pada bulan Juni hingga Oktober. Provinsi Banten, DKI Jakarta, Jambi, Bangka Belitung, potensi banjir tertinggi pada bulan Maret, dan terendah pada bulan Juni hingga September. Di Kalimantan kecuali Provinsi Kalimantan Tengah, Sulawesi kecuali Provinsi Gorontalo, dan Papua memiliki potensi banjir tertinggi pada bulan Maret dan terendah terjadi pada bulan Juni hingga Agustus. Provinsi Sumatera Utara memiliki potensi banjir tertinggi yang terjadi pada bulan Maret dan terendah pada bulan Februari,

sedangkan di Provinsi Maluku Utara potensi banjir tertinggi terjadi pada bulan Maret dan terendah pada bulan Oktober. Sementara di Provinsi NAD dan Riau, potensi banjir tertinggi terjadi pada bulan Oktober dan terendah pada bulan Juli. Potensi banjir tertinggi di Provinsi Gorontalo terjadi pada bulan Februari dan terendah pada bulan Agustus hingga Oktober (Gambar 6).



Gambar 6. Pola potensi banjir di seluruh wilayah Indonesia berdasarkan jumlah kejadian terbanyak ( T ) dan terendah ( R ) hasil deteksi data MTSAT-1R tahun 2011

Apabila dibandingkan dengan pola curah hujan di wilayah Indonesia, maka pola sebaran potensi banjir tampak mengikuti pola-pola sebaran curah hujan yang ada di Indonesia seperti yang dikemukakan oleh Aldrian and Susanto (2003). Berdasarkan faktor-faktor pengendali cuaca dan iklim, Indonesia dibagi menjadi 153 daerah pola hujan yang dikelompokkan menjadi tiga daerah utama (Aldrian and Susanto 2003), yaitu A, B, dan C. **Daerah A** merupakan pola yang dominan di Indonesia dengan satu puncak hujan pada bulan November-Maret dan terendah bulan Mei-September sehingga antara musim kemarau dan musim hujan dapat dibedakan dengan jelas. **Daerah B** mempunyai dua puncak pada bulan Oktober-November dan pada bulan Maret - Mei. **Daerah C** mempunyai satu puncak pada bulan Juni-Juli (JJ) dan satu palung pada bulan November-Februari. Pola ini merupakan kebalikan dari pola A.

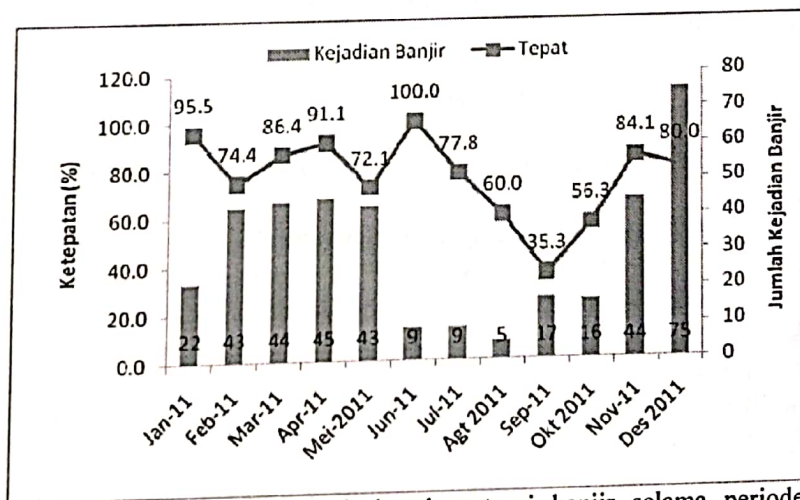
Dengan demikian terlihat bahwa informasi potensi banjir yang dihasilkan untuk wilayah P. Jawa (kecuali Banten), Bali, NTB, NTT pada tahun 2010 dan 2011 sangat sesuai dan berhubungan dengan pola curah hujan musonal yang berlaku di wilayah-wilayah tersebut dan terjadi relatif konsisten antara pada tahun 2010 dengan 2011. Sementara di wilayah Indonesia lainnya sangat bervariasi, namun demikian variasi yang terjadi masih sesuai dengan pola sebaran curah hujan seperti yang dikemukakan oleh Aldrian dan Susanto (2003). Kondisi curah hujan wilayah Indonesia sangat dipengaruhi oleh karakteristik monsun (Murakami dan Matsumoto 1994; Wu dan Kirtman 2007) yang terjadi akibat adanya perbedaan tekanan di benua Asia dan Australia secara bergantian yang terjadi pada skala waktu tahunan (Ramage 1971). Musim hujan di Sebagian besar wilayah Indonesia berkaitan dengan monsun Barat yang berlangsung pada Desember-Januari-



Februari (DJF) dan musim kemarau berlangsung bersamaan dengan monsun Timur yang terjadi pada Juni-Juli-Agustus (JJA). Di antara monsun Barat dengan monsun Timur terdapat musim peralihan (pancaroba), yakni: yang pertama berlangsung pada bulan Maret-April-Mei, sedangkan yang kedua pada bulan September-Oktober-November (SON). Keragaman yang terjadi pada pola umum ini dipengaruhi oleh proses pemanasan global, fluktuasi fenomena ENSO (Philander 1989; Halpert dan Ropelewski 1992; Lau dan Nath 2000), siklon tropis, dan faktor-faktor lokal seperti beragamnya topografi, dan sebagainya.

### 3.4. Tingkat Ketepatan Informasi Potensi Banjir dari MTSAT-1R

Untuk menilai tingkat ketepatan informasi potensi banjir dilakukan dengan cara menumpang-susunkan antara informasi potensi banjir harian dengan lokasi kejadian banjir yang diperoleh dari BNPB dan media masa elektronik maupun surat kabar. Data lokasi kejadian banjir yang terkumpul sebanyak 372 kejadian banjir di seluruh wilayah Indonesia selama periode Januari 2011 – Desember 2011. Dari data tersebut, sebanyak 294 (79.03%) kejadian banjir terdapat pada daerah yang terdeteksi berpotensi banjir dengan sebaran tiap bulannya seperti yang disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Sebaran nilai ketepatan informasi daerah potensi banjir selama periode Januari 2011 – Desember 2011

Berdasarkan Gambar 7, tingkat ketepatan informasi yang dihasilkan dari data satelit berkisar antara 35.3% hingga 100%. Pada bulan-bulan di saat sebagian besar wilayah Indonesia mengalami musim hujan hingga musim peralihan ke musim kemarau (November – Mei), tingkat ketepatan lebih dari 70% (dari sekitar 22 – 75 kejadian banjir). Pada awal musim kemarau (Juni – Oktober 2011) terlihat bahwa dari jumlah kejadian banjir yang makin berkurang, tingkat ketepatan informasi

juga tampak masih tinggi walaupun ada kecenderungan makin berkurang hingga pada puncak musim kemarau (September 2011).

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari analisis di atas dapat disimpulkan bahwa informasi potensi banjir yang diturunkan dari data MTSAT-1R cukup baik dan mempunyai tingkat ketepatan cukup tinggi (79.03%). Potensi kejadian banjir di Indonesia tahun 2010 atau tahun 2011 tertinggi ditemukan di P. Jawa diikuti oleh Sumatera, dan selanjutnya Kalimantan.

Pola sebarannya mengikuti pola curah hujan yang tengah berlangsung dan keragamannya dipengaruhi oleh kondisi cuaca yang terjadi di masing-masing wilayah Indonesia. Pada tahun 2010 dapat dikelompokkan menjadi 7 wilayah

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E dan RD Susanto. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatol.*, 23, p: 1435 – 1452.
- Halpert MS, and Ropelewski CF. 1992: Temperature patterns associated with the Southern Oscillation., *J. Climate*, 5, p: 577–593.
- Haryani et al. 2011. Laporan Akhir Kegiatan Bidang Lingkungan dan Mitigasi Bencana.
- Ho, L.T.K., M. Umitsu, and Y. Yamaguchi. 2010. Flood hazard mapping by satellite images and SRTM DEM in the Vu Gia-Thu Bon Alluvial Plain, Central Vietnam. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. XXXVIII, Part 8*, Kyoto Japan.
- Kochi University. <http://weather.is.khochi-u.ac.jp/archive-e.html>
- Kurino, T. 2008. JMA/MSU's Status Report as the GPRC for a series of GMS/MTSAT Satellites. Presentation Document of GSICS EP4 Meeting 10-11 July 2008, Genewa.
- Lau, N. C., and M. J. Nath. 2000. Impact of ENSO on the variability of the Asian-Australian monsoons as simulated in GCM experiments. *J. Climate*, 13, 4287–4309.
- Meteorological Satellite MTSAT series. Japan Meteorological Agency. <http://www.jma.go.jp/jma-eng/satellite/index.html>
- Murakami, T. and J. Matsumoto. 1994. Summer monsoon over the Asian continent and Western North Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 62, p: 69 – 87.
- Philander, SGH. 1989. El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation., vol. 46 *International Geophysical Series*, Academic Press, 289 pp.
- Ramage, CS. 1971. Monsoon Meteorology. *International Geophysics Series*. Vol. 15. Academic Press. 296 pp.
- The Meteorological Satellite Center Technical Note-JMA. 2009. GSICS MTSAT Infrared Intercalibration Guide. <http://mscweb.kishou.go.jp/monitoring/gsics/ir/techinfo.htm>.
- Wu, R. And BP. Kirtman. 2007. Roles of the Indian Ocean in the Australian Summer Monsoon – ENSO relationship. Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies and George Mason University. 4041 Powder Mill Road, Suite 302. Calverton, Maryland 20705.