

Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh untuk Monitoring Kejadian Iklim Ekstrem di Indonesia

The Applications of Remote Sensing Technology for Extreme Climate Monitoring in Indonesia

Erna Sri Adiningsih¹, Parwati Sofan², Indah Prasasti²

1 Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jl. Lapan No. 70, Pasar Rebo, Jakarta 13710. Email: ernasri@lapan.go.id

2 Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, , Jl. Lapan No. 70, Pasar Rebo, Jakarta 13710

Diterima 10 September 2016; Direview 26 Oktober 2016; Disetujui dimuat 19 Desember 2016

Abstrak. Monitoring iklim ekstrem dan dampaknya terhadap pertanian di Indonesia memerlukan data dan sarana pengamatan yang luas dan intensif. Teknologi penginderaan jauh dapat memberikan solusi dalam monitoring iklim ekstrem dan dampaknya secara luas dan cepat. Tulisan ini mengulas tentang pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk monitoring cuaca dan iklim ekstrem serta dampaknya terhadap kekeringan dan banjir khususnya bagi sektor pertanian, berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan di Indonesia dan beberapa negara lain. Beberapa model yang telah dikembangkan dan diaplikasikan di Indonesia menggunakan data penginderaan jauh resolusi rendah dan menengah secara tunggal maupun gabungan. Beberapa variabel yang dikaji dan diulas antara lain suhu awan, laju curah hujan, suhu permukaan tanah, indeks vegetasi dan turunannya, indeks lengas tanah dan turunannya dapat merepresentasikan kondisi cuaca dan iklim ekstrem, serta kondisi lahan yang rawan kekeringan atau banjir khususnya di Pulau Jawa dan Bali. Ketelitian model yang telah dikembangkan hingga saat ini dengan data GMS, MTSAT, TRMM, QMorph, MODIS, AVHRR, Landsat-7, SPOT-4, dan ALOS umumnya memadai untuk level nasional hingga level kabupaten dengan koefisien keragaman rata-rata berkisar antara 60% hingga 80%. Meskipun demikian, ketelitian model yang telah dihasilkan dan diaplikasikan masih perlu ditingkatkan. Sistem monitoring berbasis penginderaan jauh memiliki prospek yang sangat baik untuk terus digunakan di masa depan dengan memanfaatkan data yang lebih baru seperti Himawari-8, NPP-VIIRS, Landsat-8, SPOT-6, dan SPOT-7.

Kata kunci: Teknologi Penginderaan Jauh / Cuaca Ekstrem / Iklim Ekstrem / Kekeringan / Banjir

Abstract. Monitoring of extreme climate and its impacts on agriculture in Indonesia need a lot of data as well as wide and intensive observation network. Remote sensing technology could provide better solution for a broader and rapid monitoring system of extreme climate and its impacts. This paper describes the applications of remote sensing technology on monitoring extreme weather and climate and their impacts on droughts and floods especially in agricultural sector, based on previous research results conducted in Indonesia and several other countries. Some models which have been developed and applied in Indonesia used low and medium resolution data single and combined techniques. Some derived variables were reviewed such as cloud temperature, rainfall rate, land surface temperature, vegetation index and its derivatives, soil moisture index and its derivatives could represent extreme weather and climate condition, as well as land susceptibility to droughts and floods in Java and Bali islands. The accuracy of models using GMS, MTSAT, TRMM, QMorph, MODIS, AVHRR, Landsat-7, SPOT-4, and ALOS to date is generally sufficient at national to district levels with averaged determinant coefficients range between 60% and 80%. However, the accuracy of resulted and applied models still need to be enhanced. Remote sensing-based monitoring system has a good prospect to be continuously implemented in the future using newer data such as Himawari-8, NPP-VIIRS, Landsat-8, SPOT-6, and SPOT-7.

Keywords: Remote Sensing Technology / Weather Extreme / Climate Extreme / Droughts / Floods

PENDAHULUAN

Deteksi dan monitoring kejadian iklim ekstrem dan dampaknya di wilayah Indonesia membutuhkan jaringan pengamatan yang luas secara terus menerus. Sebagai negara maritim, iklim di Indonesia sangat dipengaruhi oleh dinamika

atmosfer maupun dinamika lautan, sehingga monitoring iklim ekstrem mencakup informasi tentang kondisi atmosfer maupun lautan. Satelit penginderaan jauh, khususnya satelit dengan misi observasi lingkungan dan cuaca, memiliki potensi yang sangat tinggi untuk menghasilkan data dan informasi yang diperlukan bagi monitoring iklim ekstrem di Indonesia.

Teknologi penginderaan jauh telah dimanfaatkan sejak 1980-an untuk monitoring lingkungan dan cuaca di Indonesia. Pada awal pemanfaatan data satelit, dilakukan monitoring liputan awan, badai dan siklon tropis menggunakan citra satelit *Geosynchronous Meteorological Satellite* (GMS) (Adiningsih dan Suri 2000). Sejalan dengan perkembangan teknologi satelit penginderaan jauh, monitoring cuaca dan iklim ekstrim dan dampaknya dilakukan dengan memanfaatkan berbagai jenis data satelit resolusi rendah, seperti: MTSAT/Himawari, TRMM, QMorph, NOAA-AVHRR dan Aqua/Terra MODIS (Parwati *et al.* 2007, Roswintiarti *et al.* 2011; Parwati *et al.* 2012). Selanjutnya teknik monitoring dikembangkan dengan memanfaatkan data resolusi menengah, seperti Landsat, ALOS, dan SPOT (Prasasti *et al.* 2012).

Pemanfaatan teknologi satelit penginderaan jauh untuk monitoring cuaca dan iklim ekstrim di Indonesia mulai dikembangkan di Indonesia sejak 1990-an dengan data satelit geostasioner GMS yang kemudian digantikan oleh MTSAT dan saat ini yang beroperasi adalah satelit Himawari-8. Sistem yang dikembangkan pada saat itu adalah monitoring liputan awan, siklon tropis, posisi dan gerak *Inter-Tropical Convergence Zone* (ITCZ) serta pengaruhnya terhadap kondisi cuaca di Indonesia. Pemantauan anomali suhu permukaan laut (SPL) di Pasifik tropis (Nino3.4) juga dilakukan berbasis data satelit global untuk mengetahui potensi kejadian El-Nino atau La-Nina. Data *Outgoing Long-wave Radiation* (OLR) dari pengamatan satelit global juga dimanfaatkan untuk prediksi anomali curah hujan sebagai dampak kejadian El-Nino dan La-Nina (Adiningsih *et al.* 2004). Selain data satelit meteorologi, sistem monitoring parameter terkait iklim lainnya, seperti suhu permukaan tanah, lensa tanah, dan Bowen Ratio juga dikembangkan lebih lanjut dengan memanfaatkan data satelit NOAA-AVHRR (Adiningsih *et al.* 2001, 2006), juga dengan data satelit Terra/Aqua MODIS (Parwati *et al.* 2007, 2008, 2009), dan data satelit resolusi menengah seperti Landsat (Tursilowati *et al.* 2012). Saat ini di LAPAN sedang dikembangkan sistem monitoring parameter atmosfer dengan data satelit NPP-VIIRS (Adiningsih *et al.* 2015).

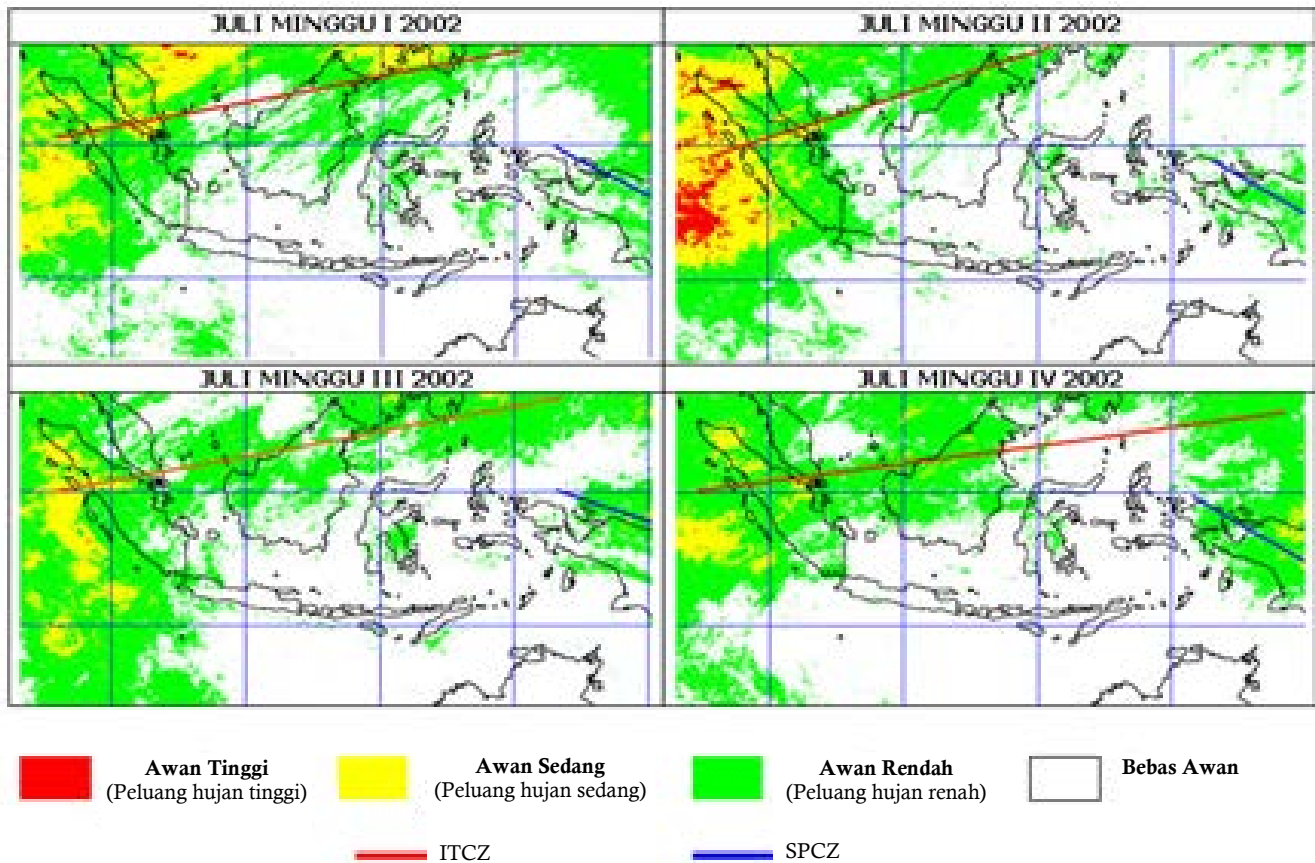
Ketersediaan berbagai data penginderaan jauh tersebut memungkinkan dikembangkannya sistem monitoring iklim ekstrim dan dampaknya di Indonesia. Selain monitoring anomali suhu permukaan laut yang mempengaruhi anomali iklim di Indonesia, sistem monitoring dampak iklim dan cuaca ekstrim juga telah dikembangkan di LAPAN, antara lain monitoring

rawan kekeringan dan banjir pada lahan pertanian, khususnya padi sawah.

Menurut Undang-Undang Nomor 21 tahun 2013 tentang Keantariksaan, Lembaga (LAPAN) memperoleh mandat untuk melakukan perolehan data, pengelolaan data, penyediaan pedoman pengolahan data, dan penyediaan informasi berbasis penginderaan jauh untuk pengguna di Indonesia (Pemerintah Republik Indonesia 2013). Oleh karena itu, tulisan ini mengkaji dan mengulas beberapa model dan/atau sistem monitoring cuaca/iklim ekstrim dan dampaknya di Indonesia berbasis teknologi penginderaan jauh. Selain cuaca dan iklim ekstrim, bahasan difokuskan pada kekeringan dan banjir yang berdampak pada lahan pertanian, baik yang telah dikembangkan di LAPAN maupun lembaga lainnya, perguruan tinggi, dan masyarakat ilmiah. Tulisan ini mengulas beberapa model yang telah dikembangkan dan dioperasikan sejak tahun 1990-an hingga kini, dan model yang telah diperbaharui dengan teknologi penginderaan jauh dan metode yang lebih baru. Selain kemajuan dan perbaikan dalam metode monitoring, beberapa permasalahan juga diulas untuk menjadi masukan bagi perbaikan penelitian dan pengembangan sistem monitoring iklim ekstrim serta dampaknya pada kekeringan dan banjir berbasis teknologi penginderaan jauh. Pada bagian akhir dari tulisan ini dikemukakan prospek, tantangan, dan arah penelitian dalam pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk monitoring iklim ekstrim di Indonesia di masa depan.

MONITORING HUJAN EKSTRIM

Data berbagai satelit untuk misi meteorologi untuk estimasi dan prediksi curah hujan telah banyak digunakan. Data satelit yang digunakan untuk monitoring curah hujan dan kondisi ekstrim, antara lain *Geostationary Meteorological Satellite* (GMS) atau *Multi-purpose Transmission SATellite* (MTSAT) atau sekarang Himawari-8, *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), dan QMorph. Model awal yang dikembangkan untuk monitoring cuaca ekstrim menggunakan variabel suhu puncak awan dari data kanal inframerah dari data GMS. Dalam model tersebut, kondisi cuaca ekstrim dapat dideteksi dari pergerakan awan penghasil hujan ekstrim yang berada di sepanjang zona *Inter-Tropical Convergence Zone* (ITCZ). Pada Gambar 1 dapat dilihat contoh citra awan penghasil hujan ekstrim pada bulan Juli 2002 yang berada di sebelah barat Sumatera (Pusbangja-LAPAN 2003).



Gambar 1. Monitoring liputan awan penghasil hujan ekstrim dan posisi ITCZ di Indonesia yang diolah dari data *Geosynchronous Meteorological Satellite (GMS)* (Pusbangja-LAPAN 2003)

Figure 1. *Monitoring of cloud cover producing extreme rainfall and ITCZ position over Indonesia based on Geosynchronous Meteorological Satellite (GMS) data (Pusbangja-LAPAN 2003)*

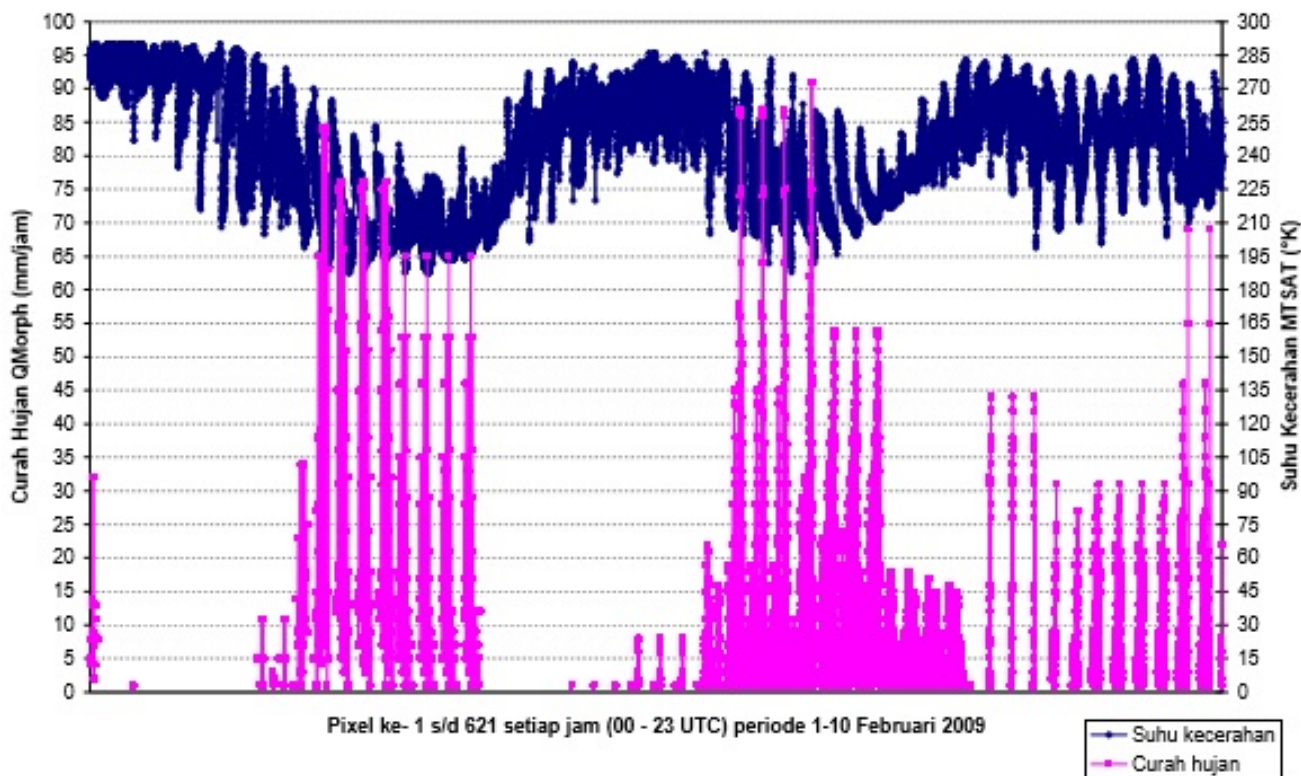
Dengan pergantian seri satelit GMS menjadi seri satelit MTSAT, model yang sudah ada dikembangkan lebih lanjut. Hasil penelitian untuk DAS Bengawan Solo dengan data MTSAT dan QMorph menunjukkan korelasi yang baik antara variabel suhu kecerahan awan dari MTSAT dengan curah hujan dari QMorph dengan korelasi di atas 0.80 (Parwati *et al.* 2009). Pada Gambar 2 disajikan contoh *time series* data MTSAT dan QMorph selama kejadian banjir di DAS Bengawan Solo. Hasil tersebut menunjukkan bahwa data MTSAT dan QMorph layak untuk digunakan dalam monitoring hujan ekstrim.

Dari penelitian dengan data TRMM tahun 2001 hingga 2007 di Nepal menunjukkan bahwa penduga curah hujan dari data TRMM berkorelasi nyata dengan data curah hujan hasil observasi permukaan. Namun pada kondisi hujan esktrim dan selama hari hujan selama musim monsun Asia menunjukkan kecenderungan menduga lebih (*overestimate*) dan akurasi yang rendah untuk daerah pegunungan (Duncan dan Biggs 2012). Sementara itu, data TRMM juga diterapkan

untuk monitoring hujan ekstrim di wilayah Mediterania pada periode 2000-2011 menggunakan tiga kategori indeks, yaitu indeks persentil, indeks absolut, dan indeks durasi hujan harian. Hasilnya menunjukkan korelasi yang baik antara indeks berbasis data TRMM dengan luaran model iklim regional (Nastos *et al.* 2013).

Kinerja produk data penginderaan jauh untuk monitoring kejadian hujan ekstrim telah dievaluasi untuk melihat dampak Taifun Morakot tahun 2009. Dalam hal ini data CMORPH berkorelasi baik (0.70) dengan akumulasi hujan ekstrim di wilayah Taiwan meskipun cenderung menduga kurang (*underestimate*) selama badai tropis tersebut (Chen *et al.* 2013).

Penelitian Mikuš dan Mahović (2013) menggunakan data suhu kecerahan (*brightness temperature*) yang diturunkan dari data beberapa kanal satelit Meteosat untuk mendeteksi awan vertikal yang menjulang tinggi, seperti jenis awan Cb yang berpotensi menyebabkan cuaca ekstrim. Hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh metode yang terbaik untuk digunakan adalah kombinasi selisih suhu kecerahan antara kanal 6.2–10.8 μm dan antara kanal 9.7–



Gambar 2. Time series suhu kecerahan awan dari MTSAT dan curah hujan dari QMorph per pixel periode tanggal 1-10 Februari 2009 jam 00-23 UTC di wilayah DAS Bengawan Solo (Parwati *et al.* 2009)

Figure 2. Time series of cloud brightness temperature from MTSAT and rainfall from QMorph per pixel during the period of 1-10 February 2009 at 00-23 UTC over Bengawan Solo Catchment Area (Parwati *et al.* 2009)

10.8 μm . Hasil penelitian Mikuš dan Mahović (2013) menunjukkan bahwa data satelit Meteosat dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi cuaca ekstrem dengan ketelitian 80% jika dibandingkan dengan data curah hujan dari penakar hujan.

Keragaman akurasi penduga curah hujan dari satelit menunjukkan adanya faktor ketidakpastian (*uncertainty*) yang bergantung pada jenis data yang digunakan dan wilayah yang diobservasi. Analisis faktor ketidakpastian penduga curah hujan berbasis data satelit telah dilakukan berbasis data TRMM, CMORPH, *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP), dan NOAA *Hydroestimator* (HYDRO-E) untuk model hidrologi. Hasilnya menunjukkan bahwa curah hujan dari beberapa produk data satelit tersebut merupakan fungsi dari luas daerah tangkapan hujan di daerah tropis di Brazil (Falck *et al.* 2015).

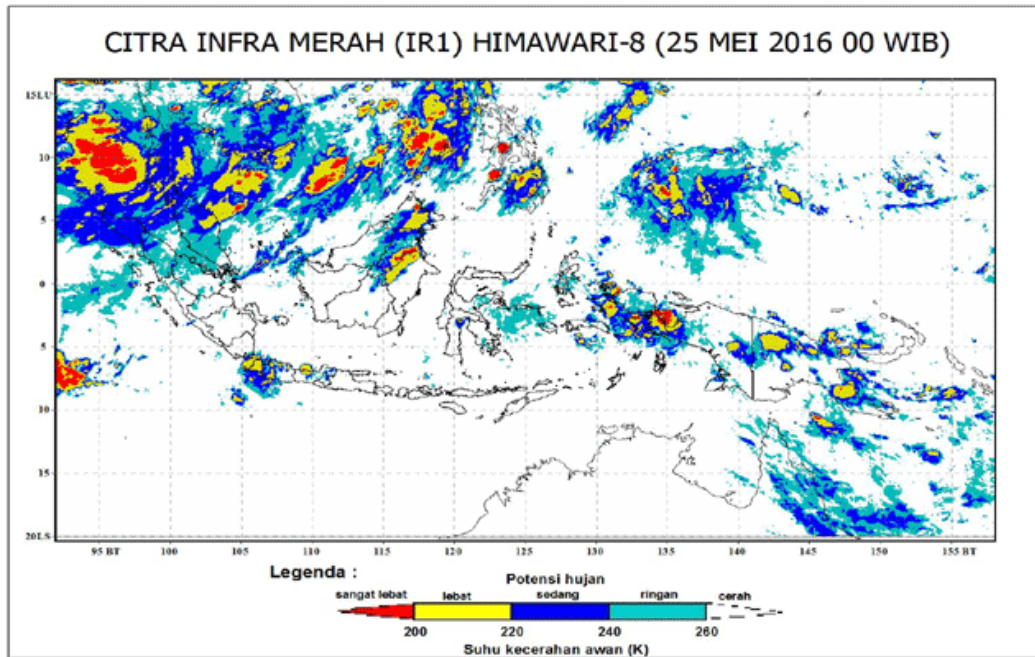
Saat ini, telah dikembangkan sistem monitoring curah hujan harian berbasis data satelit Himawari-8 yang merupakan generasi penerus satelit GMS dan MTSAT. Variabel yang digunakan adalah suhu kecerahan dari kanal inframerah data Himawari-8 sebagaimana yang telah dikembangkan oleh LAPAN

sebelumnya. Data Himawari-8 dengan resolusi temporal 10 menit dapat memberikan informasi yang lebih dinamis tentang perkembangan dan gerak awan penghasil hujan ekstrem. Contoh citra curah hujan harian dari Himawari-8 disajikan pada Gambar 3.

Selain monitoring hujan ekstrem pada skala harian, LAPAN telah mengembangkan sistem monitoring tutupan awan dan curah hujan mingguan berbasis data TRMM dan QMorph seperti yang disajikan pada Gambar 4. Pada skala musiman, model yang telah dikembangkan adalah prediksi anomali curah hujan bulanan berbasis data *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) seperti contoh yang disajikan pada Gambar 5.

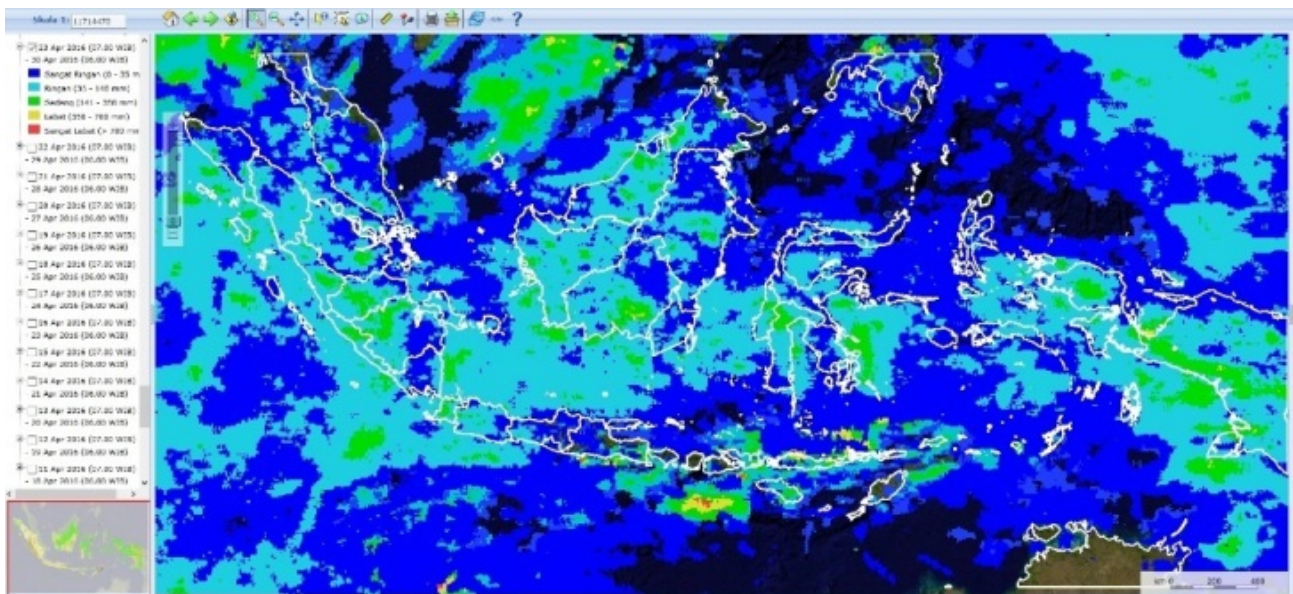
MONITORING KEKERINGAN

Selain anomali curah hujan, variabel indeks vegetasi dari data satelit banyak digunakan sebagai indikator dalam monitoring kekeringan untuk aplikasi kehutanan dan pertanian (Liberto *et al.* 2016; Velpuri *et al.* 2016). Variabel indeks vegetasi yang banyak digunakan adalah *Normalized Difference Vegetation Index*



Gambar 3. Citra inframerah Himawari-8 untuk monitoring curah hujan harian di Indonesia tanggal 25 Mei 2016 pagi (Pusfatja-LAPAN 2016)

Figure 3. Himawari-8 infrared imagery to monitor daily rainfall over Indonesia on 25 May 2016 morning (Pusfatja-LAPAN 2016)

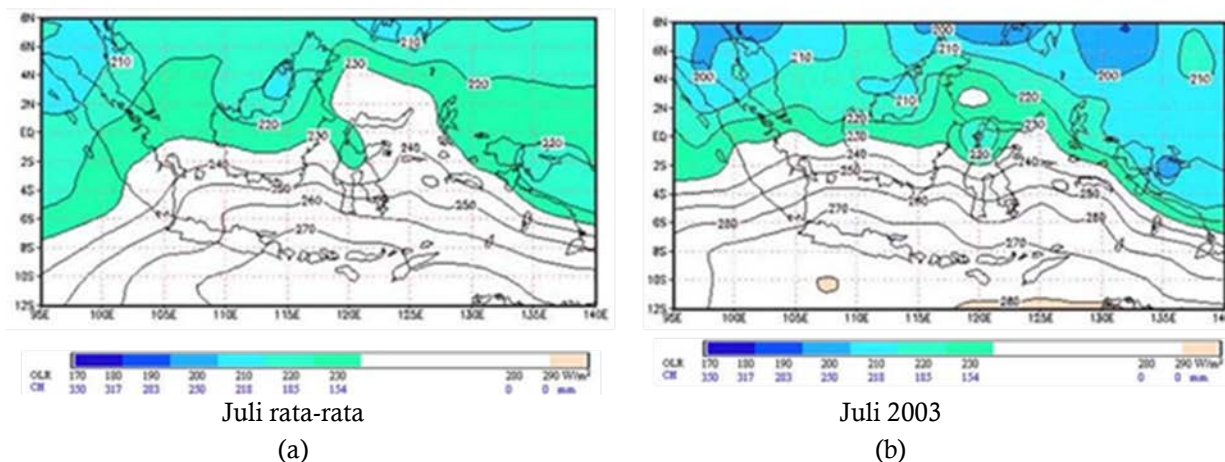


Gambar 4. Monitoring mingguan tutupan awan dan curah hujan di Indonesia periode 23 April - 30 April 2016 (Pusfatja-LAPAN 2016)

Figure 4. Monitoring of weekly cloud cover and rainfall over Indonesia during the period of 23 April – 30 April 2016 (Pusfatja-LAPAN 2016)

(NDVI) yang diolah dari data reflektansi (*reflectance*) pada kanal tampak (*visible*) dan inframerah dekat (*near infrared*). Meskipun demikian, ada beberapa indeks turunan lainnya yang dapat digunakan untuk monitoring kekeringan lahan pertanian, antara lain: *Environmental Vegetation Index* (EVI), *Vegetation*

Condition Index (VCI), *Vegetation Health Index* (VHI), *Soil Brightness Index* (SBI), *Normalized Difference Soil Index* (NDSI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI) (Adiningsih *et al.* 2001, Domiri 2006, Parwati *et al.* 2008, Roswintarti *et al.* 2011, Darmawan *et al.* 2014, Johansson *et al.* 2015, Setiawan *et al.* 2016).



Gambar 5. Curah hujan di Indonesia dari data *Outgoing Longwave Radiation* (OLR):(a) bulan Juli rata-rata dan (b) Juli 2003 (Pusbangja - LAPAN 2003)

Figure 5. Rainfall over Indonesia based on *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) data: (a) mean July, and (b) July 2003 (Pusbangja – LAPAN 2003)

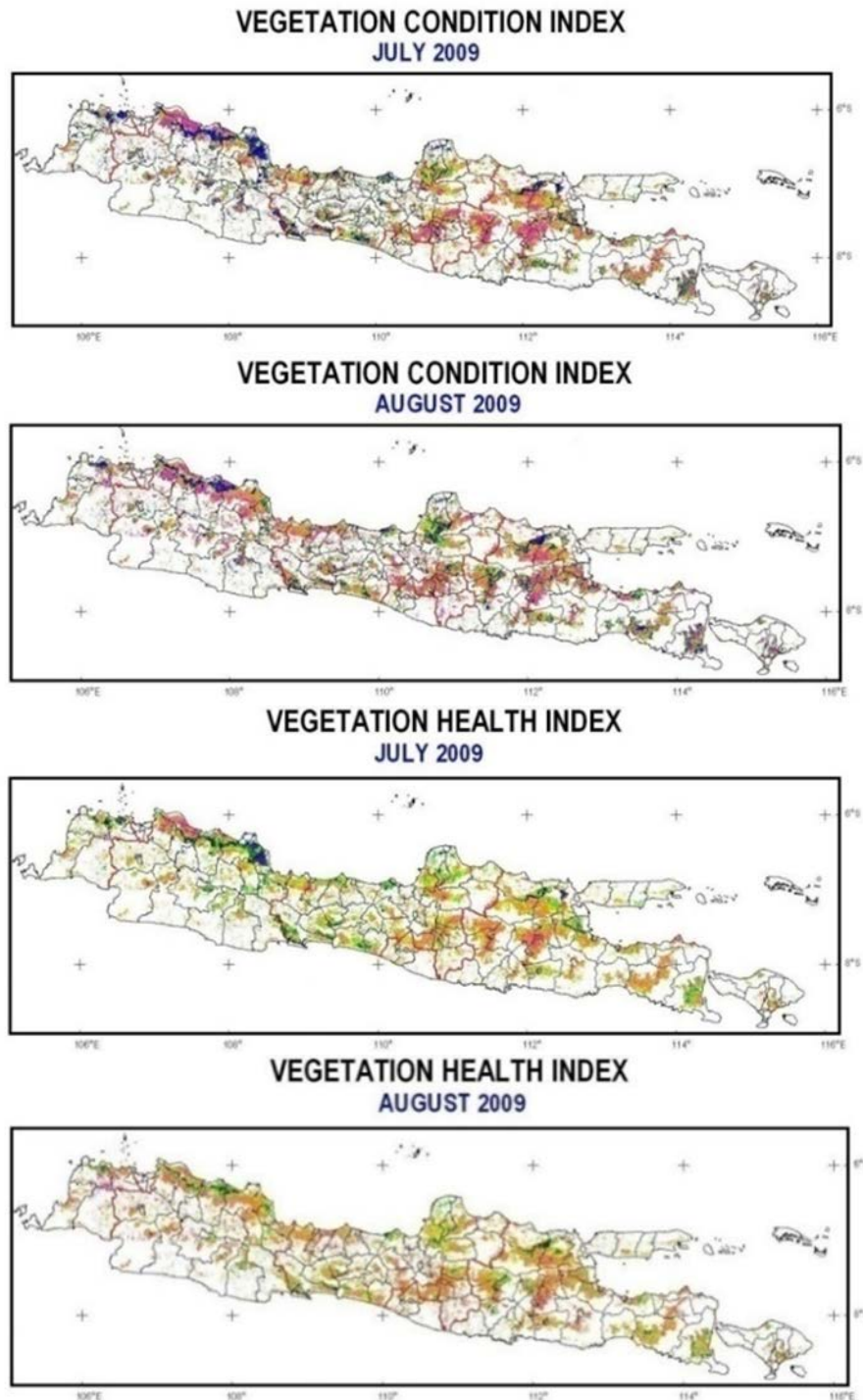
Pendekatan dengan variabel indeks vegetasi yang digabungkan dengan suhu permukaan lahan menghasilkan variabel *Temperature Vegetation Dryness Index* (TVDI) telah dikembangkan berbasis data MODIS (Parwati dan Suwarsono 2008). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa variabel TVDI dapat merepresentasikan kekeringan lahan pertanian dan perkebunan dengan baik untuk Pulau Jawa. Penelitian dengan variabel VCI dan VHI dari data MODIS untuk monitoring kekeringan bulanan di Pulau Jawa menunjukkan dinamika kekeringan secara spasial sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 6 (Roswintarti *et al.* 2011).

Penggunaan NDVI sebagai variabel tunggal maupun digabungkan dengan variabel lainnya seperti curah hujan, suhu permukaan tanah dan evapotranspirasi dapat memberikan informasi yang lebih kompleks tentang kekeringan pada lahan tertutup vegetasi secara umum (Adiningsih *et al.* 2006, Domiri 2006, Darmawan *et al.* 2014, Velpuri *et al.* 2016). Monitoring kekeringan vegetasi berbasis variabel NDVI dari data satelit resolusi menengah Landsat memberikan akurasi spasial yang memadai untuk skala DAS (Chang *et al.* 2011, Tursilowati *et al.* 2012). Meskipun demikian variasi temporal NDVI berskala musiman dari data Landsat tidak dapat digambarkan sebaik variasi NDVI dari data satelit resolusi rendah seperti AVHRR dan MODIS (Adiningsih *et al.* 2006; Tursilowati *et al.* 2012). Sementara itu, monitoring dampak cuaca dan iklim ekstrim terhadap produksi pertanian global dengan menggunakan variabel VHI menunjukkan hasil yang cukup baik (Johansson *et al.* 2015)

Metode monitoring variasi cadangan air waduk yang dikaitkan dengan banjir dan kekeringan menggunakan gabungan data kandungan lengas tanah dari data *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS), data satelit *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE) dan curah hujan dari satelit TRMM telah dikembangkan. Namun hasil dari metode tersebut belum memuaskan yaitu korelasi 0.51 antara data GRACE dengan data GLDAS dan korelasi 0.63 antara data GRACE dengan data TRMM (Zhou *et al.* 2016).

Monitoring dampak anomali iklim yang disebabkan oleh variabilitas iklim antar-tahunan seperti *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) terhadap kekeringan pada lahan pertanian di Pulau Jawa berbasis data NOAA-AVHRR menunjukkan bahwa selama terjadinya ENSO produksi tanaman padi di Pulau Jawa mengalami penurunan akibat kekeringan (Adiningsih dan Kustiyo 2005). Sementara itu, pengaruh ENSO terhadap kekeringan juga berdampak pada bencana kebakaran hutan dan lahan di Sumatera dan Kalimantan yang ditunjukkan oleh peningkatan jumlah hotspot yang terdeteksi secara signifikan akibat kekeringan yang berkepanjangan. Pengaruh ENSO terhadap bencana kebakaran hutan dan lahan sangat signifikan terutama pada lahan gambut di Sumatera dan Kalimantan (Adiningsih *et al.* 2006, Murdiyarso dan Adiningsih 2007).

Selain pemanfaatan data satelit resolusi rendah, penggunaan data satelit resolusi menengah seperti Landsat, SPOT, dan ALOS untuk pendugaan variabel kekeringan menghasilkan ketelitian spasial yang lebih baik.



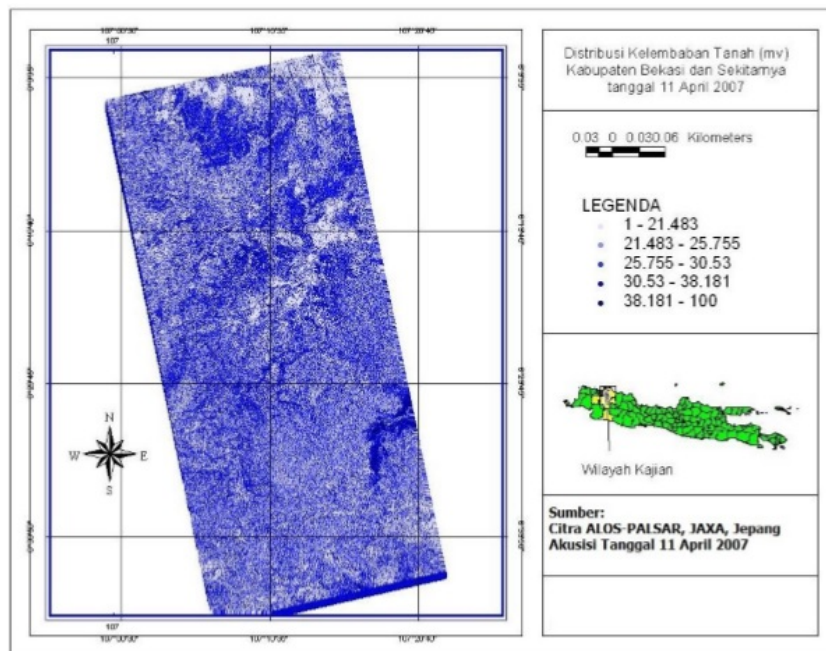
Gambar 6. Monitoring kekeringan di Pulau Jawa berbasis variabel Vegetation Condition Index (VCI) dan Vegetation Health Index (VHI) dari data MODIS (Roswintiarti *et al.* 2011)

Figure 6. Drought monitoring over Java Island based on Vegetation Condition Index (VCI) and Vegetation Health Index (VHI) from MODIS data (Roswintiarti *et al.* 2011)

Penelitian dengan menggunakan data ALOS PALSAR menunjukkan bahwa data tersebut dapat digunakan sebagai penduga kelembaban tanah yang sangat baik pada kedalaman 0-5 cm (Prasasti *et al.* 2012). Contoh citra distribusi kelembaban tanah untuk

daerah Kabupaten Bekasi dan sekitarnya disajikan pada Gambar 7.

Penelitian tentang monitoring lahan bekas terbakar di Riau dengan data resolusi menengah, yaitu SPOT-4, menunjukkan bahwa variabel NDVI yang



Gambar 7. Distribusi kelembaban tanah dari citra ALOS PALSAR (Prasasti *et al.* 2012)

Figure 7. Soil moisture distribution from ALOS PALSAR imagery (Prasasti *et al.* 2012)

diturunkan dari data tersebut lebih sesuai untuk mendeteksi perubahan lahan dari vegetasi ke non vegetasi tanpa membakar. Hasil ini juga selaras dengan analisis menggunakan data resolusi rendah yaitu Terra MODIS (Parwati *et al.* 2012).

MONITORING BANJIR

Monitoring cuaca dan iklim ekstrim yang berdampak terhadap banjir dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis data satelit, baik data resolusi rendah maupun resolusi menengah. Monitoring potensi banjir pada daerah lahan sawah dengan data MODIS dan TRMM memberikan hasil yang cukup baik, seperti yang telah diteliti untuk daerah Indramayu, Jawa Barat. Metode yang diterapkan adalah dengan mengembangkan zonasi rawan banjir menggunakan variabel indeks vegetasi dari MODIS dan curah hujan dari TRMM (Febrianti dan Domiri 2012).

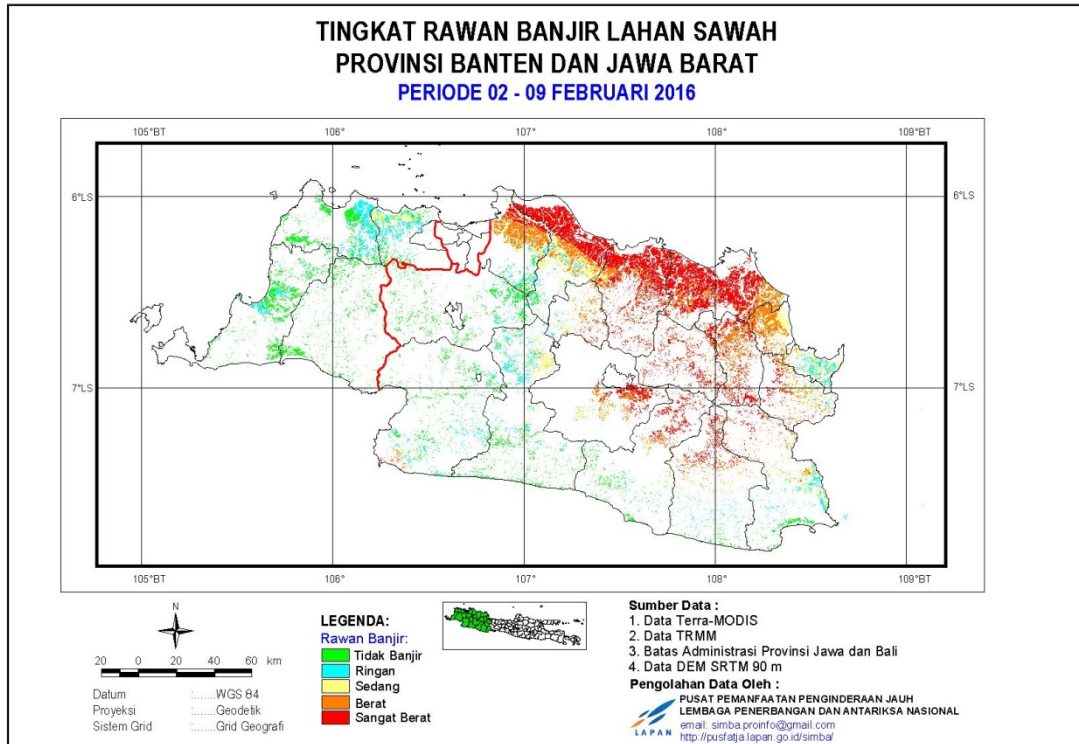
Model lain juga telah dikembangkan untuk penentuan bahaya banjir berbasis kombinasi data Landsat, SPOT-5, SRTM, dan TRMM dengan hasil yang baik untuk studi kasus di Kabupaten Sampang (Haryani *et al.* 2012). Sementara itu, pemanfaatan data resolusi menengah seperti Landsat untuk identifikasi daerah genangan banjir dengan variabel *Normalized Difference Water Index* (NDWI) telah dikaji untuk Pulau

Jawa dengan hasil yang cukup baik (Suwarsono *et al.* 2013).

Saat ini LAPAN telah mengembangkan sistem monitoring tingkat rawan banjir pada lahan sawah di Pulau Jawa dan Bali untuk periode mingguan. Sistem monitoring menggunakan data Terra-MODIS dan TRMM yang dikombinasikan dengan informasi topografi dari data DEM SRTM 90 m. Pada Gambar 8 disajikan informasi tingkat rawan banjir mingguan di Provinsi Banten dan Jawa Barat untuk periode 02 – 09 Februari 2016.

Ikhtisar hasil-hasil penelitian dan pengembangan tentang monitoring cuaca/iklim ekstrim, kekeringan dan banjir dengan variabel berbasis data penginderaan jauh yang diuraikan di atas disajikan pada Tabel 1.

Hasil-hasil penelitian yang dikemukakan di atas sebagian telah diaplikasikan untuk monitoring lahan pertanian secara operasional yang dilakukan oleh Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh (Pusfatja) – LAPAN. Monitoring potensi kekeringan dan banjir pada lahan pertanian, serta monitoring fase pertumbuhan tanaman padi sawah berbasis data penginderaan jauh telah dilakukan oleh Pusfatja - LAPAN bekerjasama dengan Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP) Kementerian Pertanian. Aplikasi model monitoring cuaca dan iklim esktrm, serta dampaknya bagi bencana alam telah dikembangkan oleh Pusfatja–



Gambar 8. Monitoring mingguan rawan banjir lahan sawah di Provinsi Banten dan Jawa Barat periode 02 – 09 Februari 2016 (Pusfatja-LAPAN 2016)

Figure 8. Monitoring of weekly flood susceptibility over paddy field in Banten and West Java Provinces during the period of 02-09 February 2016 (Pusfatja-LAPAN 2016)

LAPAN bekerjasama dengan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB).

TANTANGAN DAN PROSPEK KE DEPAN

Perubahan dan variabilitas iklim pada skala regional dan global membawa konsekuensi meningkatnya kejadian iklim ekstrim. Oleh sebab itu pemanfaatan teknologi penginderaan jauh merupakan kebutuhan untuk monitoring secara spasial dan cepat. Dari penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan akurasi dan kehandalan model menjadi pertimbangan dalam penerapan teknologi satelit.

Selain permasalahan akurasi produk data satelit, pemanfaatan beberapa jenis data satelit sekaligus secara optimal untuk monitoring iklim ekstrim menjadi tren ke depan dan merupakan tantangan tersendiri. Sebagai contoh, analisis keberlanjutan sumberdaya air berbasis data beberapa satelit dengan variabel curah hujan dari TRMM, serta NDVI, suhu permukaan, dan penutupan lahan dari MODIS, memperlihatkan potensi data satelit yang sangat baik untuk pemanfaatan data penginderaan jauh bagi tujuan monitoring iklim ekstrim yang

berdampak pada sumberdaya air (Yigzaw dan Hossain 2015).

Tantangan ke depan dalam pemanfaatan data penginderaan jauh untuk antisipasi dampak iklim ekstrim bagi pertanian di masa yang akan datang adalah sejalan dengan kemajuan teknologi penginderaan jauh, teknologi informasi, kecenderungan global, ketersediaan data penginderaan jauh yang makin melimpah, dan tuntutan kebutuhan informasi untuk iklim dan pertanian yang meningkat. Pertama adalah tantangan untuk meningkatkan akurasi model monitoring iklim ekstrim berbasis data penginderaan jauh. Meskipun ketelitian beberapa model yang dikemukakan di atas umumnya dapat mencapai diatas 60%, namun skalanya masih setara dengan tingkat provinsi. Untuk skala tingkat kabupaten, akurasi model pada umumnya lebih rendah sehingga masih perlu ditingkatkan.

Tantangan lain, data penginderaan jauh yang digunakan untuk tujuan monitoring harus diolah secara kontinyu dan harus didistribusikan secara cepat agar antisipasi dalam menghadapi iklim ekstrim dapat dilakukan secara cepat dan tepat. Oleh sebab itu,

Tabel 1. Ikhtisar beberapa hasil penelitian tentang monitoring cuaca dan iklim ekstrim, kekeringan dan banjir dengan variabel yang diturunkan dari data penginderaan jauh

Table 1. Overview of some research results on extreme weather and climate, drought, and flood using variables derived from remote sensing data

No.	Variabel	Hasil	Referensi
1.	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI)	Berkorelasi baik dengan kekeringan di P.Jawa, P.Sumatera, dan P.Kalimantan (R^2 : 60 - 70%). Efek perubahan vegetasi terhadap perubahan luas air waduk. Berkorelasi dengan perubahan lahan vegetasi menjadi non vegetasi di Riau.	Adiningsih dan Kustiyo (2005); Adiningsih <i>et al.</i> (2006); Domiri (2006) Chang <i>et al.</i> (2011) Parwati <i>et al.</i> (2012)
2.	<i>Environmental Vegetation Index</i> (EVI)	Integrasi ke dalam model rawan banjir memberikan hasil yang baik untuk Jawa Barat. Merepresentasikan fenologi padi sawah di Indonesia.	Febrianti dan Domiri (2012) Darmawan <i>et al.</i> (2014)
3.	<i>Vegetation Condition Index</i> (VCI)	Berkorelasi dengan kekeringan lahan pertanian di P.Jawa.	Roswintiarti <i>et al.</i> (2011)
4.	<i>Soil Brightness Index</i> (SBI)	Berkorelasi tinggi dengan kadar lengas tanah pada kedalaman 0-20 cm di P.Jawa.	Adiningsih <i>et al.</i> (2001)
5.	<i>Normalized Difference Soil Index</i> (NDSI)	Berkorelasi dengan kekeringan (R^2 : 60.41%).	Domiri (2006)
6.	<i>Normalized Difference Water Index</i> (NDWI)	- Memadai untuk kekeringan lahan pertanian di P.Jawa (R^2 : 62.37%). - Hasil memadai untuk deteksi banjir di P.Jawa.	Domiri (2006) Suwarsono <i>et al.</i> (2013)
7.	<i>Vegetation Health Index</i> (VHI)	- Berkorelasi tinggi ($r=0.88$) dengan kekeringan lahan padi sawah di P.Jawa. - Klasifikasi VHI untuk monitoring kekeringan. - Monitoring kekeringan di P.Jawa dengan hasil cukup baik. - Memadai untuk monitoring skala global.	Parwati <i>et al.</i> (2008) Kogan (2002) Roswintiarti <i>et al.</i> (2011) Johansson <i>et al.</i> (2015)
8.	<i>Land Surface Temperature</i> (LST)	Variabel kunci untuk studi pertukaran energi dan uap air, serta berkorelasi baik dengan LST permukaan.	Krishnan <i>et al.</i> (2015)
9.	<i>Temperature Vegetation Dryness Index</i> (TVDI)	Variabel gabungan dari LST, TVI, dan EVI yang merepresentasikan kekeringan lahan pertanian dan perkebunan.	Parwati dan Suwarsono (2008)
10.	<i>Temperature Condition Index</i> (TCI)	Monitoring kekeringan di P.Jawa dengan hasil cukup baik.	Roswintiarti <i>et al.</i> (2011)
11.	Curah hujan dari TRMM	- Variasi curah hujan yang besar di Jawa Tengah, Jawa Timur, Lampung, Sulawesi Selatan, Maluku Tengah, Papua bagian selatan. - Integrasi ke dalam model rawan banjir memberikan hasil yang baik untuk Kab. Indramayu dan Kab. Sampang.	Roswintiarti <i>et al.</i> (2011) Febrianti dan Domiri (2012), Haryani <i>et al.</i> (2012)
12.	Curah hujan dari QMorph	Berkorelasi nyata dengan suhu kecerahan dari MTSAT ($r \geq 0.8$) untuk DAS Bengawan Solo.	Parwati <i>et al.</i> (2009)
13.	Curah hujan dari GMS/ MTSAT / Himawari-8	- Prediksi kejadian hujan harian di P.Jawa dengan akurasi hingga diatas 80%. - Ambang batas rawan banjir dengan variabel suhu kecerahan awan dari data MTSAT antara 195-235K untuk wilayah DAS Bengawan Solo.	Adiningsih dan Suri (2000), Parwati <i>et al.</i> (2009) Parwati <i>et al.</i> (2008)
14.	MODIS <i>Precipitable Water</i>	Berkorelasi sangat banik dengan precipitable water dari radiosonde ($r = 0.9$) untuk daerah padi sawah di P.Jawa.	Parwati <i>et al.</i> (2007)

otomatisasi dalam pengolahan data penginderaan jauh menjadi sangat perlu, namun tanpa mengurangi akurasi model. Model dengan data harian menggunakan citra resolusi spasial rendah, seperti Aqua/Terra MODIS, MetOP, Himawari-8, otomatisasi tidak hanya dibutuhkan untuk mengolah data harian, namun juga untuk membuat komposit data dengan periode yang

lebih panjang, seperti mingguan, dasarian, bulanan, dan musiman.

Ke depan, penelitian dan pengembangan model untuk monitoring cuaca dan iklim ekstrim serta dampaknya bagi pertanian perlu dilakukan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh resolusi rendah maupun menengah yang lebih baru. Beberapa variabel

seperti laju curah hujan (*rainfall rate*), indeks vegetasi, dan indeks lengas tanah, maupun turunannya, yang telah diteliti dan dikembangkan dengan data satelit MTSAT, TRMM, Terra/Aqua MODIS, NOAA-AVHRR, Landsat, SPOT-4, dan ALOS, menjadi hasil yang penting untuk diteliti lebih lanjut. Data satelit NPP-VIIRS, MetOP, dan Himawari-8 yang tersedia setidaknya hingga lima tahun ke depan perlu dimanfaatkan untuk mengembangkan sistem monitoring yang operasional dengan resolusi temporal tinggi, yaitu orde harian hingga kurang dari 1 jam. Selain itu, penelitian berbasis data Landsat-8, SPOT-6, dan SPOT-7 juga penting untuk melengkapi penggunaan data resolusi rendah, agar ketelitian spasial yang dibutuhkan dalam monitoring dampak cuaca dan iklim ekstrim bagi sektor pertanian dapat ditingkatkan akurasinya.

PENUTUP

Data penginderaan jauh resolusi rendah dan menengah dapat menghasilkan berbagai informasi spasial yang cukup akurat untuk sistem monitoring cuaca/iklim ekstrim serta dampaknya terhadap kekeringan dan banjir di Indonesia. Model-model yang telah dihasilkan dari berbagai penelitian memberikan informasi status saat ini dan peluang peningkatan akurasi di masa yang akan datang. Berbagai variabel yang dihasilkan dari data penginderaan jauh resolusi rendah seperti MTSAT, Himawari, TRMM, QMorph, AVHRR, dan MODIS, memiliki akurasi yang memadai untuk monitoring pada level nasional hingga provinsi. Variabel suhu awan, laju curah hujan, indeks vegetasi dan turunannya, serta indeks lengas tanah dan turunannya terbukti cukup akurat untuk dijadikan parameter dalam monitoring. Sementara itu, untuk monitoring pada skala lokal, model-model yang dihasilkan dengan data resolusi menengah, seperti Landsat, ALOS, dan SPOT dapat memberikan informasi tentang indeks vegetasi dan indeks lengas tanah yang lebih akurat secara spasial hingga level kabupaten. Namun, variabel yang diturunkan dari data resolusi menengah tersebut memiliki keterbatasan dalam resolusi temporal.

Arah penelitian ke depan untuk monitoring cuaca/iklim ekstrim dan dampaknya terhadap kekeringan dan banjir pada sektor pertanian perlu dilakukan dengan menggunakan data yang lebih baru, seperti Himawari-8, NPP-VIIRS, Landsat-8, SPOT-6, dan SPOT-7 yang telah tersedia. Selain untuk meningkatkan ketelitian temporal maupun ketelitian spasial dari informasi yang dihasilkan, penelitian ke depan perlu diarahkan untuk menghasilkan model yang mudah

untuk diterapkan dalam sistem monitoring yang *real time*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Naskah ini dapat tersusun atas dukungan dan fasilitasi dari kegiatan Adaptasi Perubahan Iklim tahun 2016 yang didanai oleh Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP), Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Fahmuddin Agus dan Prof. Dr. Irsal Las yang telah memberikan masukan berharga untuk perbaikan naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, E.S. dan Y.S. Suri. 2000. Metode prakiraan hujan dengan data GMS dan efektivitasnya dibandingkan dengan prakiraan cuaca umum. *Dalam* Prosiding Lokakarya Sehari Kebijakan Nasional dan Pemanfaatan Informasi Cuaca dan Iklim di Indonesia, 12 Mei 1999, Jakarta.
- Adiningsih, E.S., Mahmud, I. dan Effendi. 2001. Aplikasi analisis komponen utama dalam pemodelan penduga lengas tanah dengan data satelit multi temporal. *Jurnal Matematika dan Sains* 2001, 9(1): 215-222.
- Adiningsih, E.S., H. Suharsono, dan Parwati. 2004. Pengujian model prediksi anomali out-going longwave radiation dan hubungannya dengan curah hujan di Indonesia. *Majalah LAPAN*, 6(1): 52-70.
- Adiningsih, E.S. dan Kustiyo. 2005. Variability of Normalized Difference Vegetation Indices in Sumatera and its relation to climate anomalies (Keragaman Indeks Vegetasi di Sumatera dan Hubungannya dengan Anomali Iklim). *Jurnal Agromet Indonesia*, XIX(1): 37-49.
- Adiningsih, E.S, M.R. Khomarudin, dan B.S. Tejasukmana. 2006. Dynamical land/forest fire hazard mapping of Kalimantan based on spatial and satellite data. *Jurnal Agromet Indonesia, Indonesia Journal of Agricultural Meteorology*, XX(1): 1-9.
- Adiningsih, E.S., A. Indradjad, dan N.D. Salyasari. 2015. Analisis parameter penentu kualitas produk data Aerosol Optical Depth untuk wilayah Indonesia bagian Barat dari satelit NPP-VIIRS. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2015, Kemampuan IPTEK dan Pemanfaatan Penginderaan Jauh dalam Mendukung Kemandirian Pemerintah Daerah dalam Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan; 2015 November 11-12; Bogor.
- Chang, Y., D. Bao, dan Y. Bao. 2011. Satellite monitoring of ecological environment recovery effect in the Heihe River downstream region for the last 11 years. *Procedia Environmental Sciences*, 10: 2385-2392.
- Chen, S., Y. Hong, Q. Cao, P. E. Kirstetter, J. J. Gourley, Y. Qi, J. Zhang, K. Howard, J. Hu, dan J. Wang. 2013. Performance evaluation of radar and satellite rainfalls for Typhoon Morakot over Taiwan: Are remote-sensing products ready for gauge denial scenario of extreme events? *Journal of Hydrology*, 506: 4-13.

- Darmawan, S, W. Takeuchi, R. Shofiyati, D.K. Sari, dan K. Wikantika. 2014. Seasonal analysis of precipitation, drought, and vegetation index in Indonesia paddy field based on remote sensing data. *IOP Conf. Series: Earth and Environment Science*, 20: 1-9.
- Domiri, D.D.. 2006. Pengembangan model pendugaan kelengasan lahan menggunakan data MODIS. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 3(1): 15-25.
- Duncan, J.M.A. dan E. M. Biggs. 2012. Assessing the accuracy and applied use of satellite-derived precipitation estimates over Nepal. *Applied Geography*, 34: 626-638.
- Falck, A.S., V. Maggioni, J. Tomasella, D.A. Vila, dan F.L.R. Diniz. 2015. Propagation of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: a case study in the Tocantins–Araguaia basin in Brazil. *Journal of Hydrology*, 527: 943-957.
- Febrianti, N. dan D.D. Domiri. 2012. Analisis potensi banjir di sawah menggunakan data MODIS dan TRMM (studi kasus Kabupaten Indramayu). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 9(1): 35-51.
- Haryani, N.S., A. Zubaidah, D. Dirgahayu, F. Yulianto, dan Y. Pasaribu. 2012. Model bahaya banjir menggunakan data penginderaan jauh di Kabupaten Sampang. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 9(1): 52-66.
- Johansson, R., E. Luebehusen, B. Morris, Harlan Shannon, and S. Meyer. 2015. Monitoring the impacts of weather and climate extremes on global agricultural production. *Weather and Climate Extremes*, 10: 65-71.
- Kogan, F.N. 2002. World droughts in the new millenium from AVHRR-based Vegetation Health Indices. *Eos Trans. Am. Geophy. Union*, 83(48): 562-563.
- Krishnan, P., J. Kochendorfer, E.J. Dumas, P.C. Guillevic, C.B. Baker, T.P. Meyers, and B. Martos. 2015. Comparison of in-situ, aircraft, and satellite land surface temperature measurements over a NOAA Climate Reference Network site. *Remote Sensing of Environment*, 165: 249-264.
- Liberto, M.L.R., A.M. Ramos, C.M. Gouveia, P. Sousa, A. Russo, R.M. Trigo, dan F.E. Santo. 2016. Exceptionally extreme drought in Madeira Archipelago in 2012: vegetation impacts and driving conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232: 195-209.
- Mikuš, P. dan N.S. Mahović. 2013. Satellite-based overshooting top detection methods and an analysis of correlated weather conditions. *Atmospheric Research*, 123(1): 268-280.
- Murdiyarso, D. dan E.S. Adiningsih. 2007. Climate anomalies, Indonesian vegetation fires and terrestrial carbon emissions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. An International Journal Devoted to Scientific, Engineering, Socio-Economic and Policy Responses to Environmental Change*, 12(1): 101-112.
- Nastos, P.T., J. Kapsomenakis, dan K.C. Douvis. 2013. Analysis of precipitation extremes based on satellite and high-resolution gridded data set over Mediterranean basin. *Atmospheric Research*, 131: 46-59.
- Parwati, T. Sugiharto, dan Hasnaeni. 2007. Relative humidity estimation based on MODIS precipitable water for supporting spatial information over Java Island. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 4: 33-45.
- Parwati, M. Jungang, dan O. Roswintarti. 2008. Drought monitoring over paddy field area in Indramayu district West Java using remotely sensed indices. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 5: 34-45.
- Parwati dan Suwarsono. 2008. Model indeks TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index) untuk mendeteksi kekeringan lahan berdasarkan data MODIS-Terra. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 5: 35-44.
- Parwati, Suwarsono, K. Ayu, dan M. Kartasasmita. 2009. Penentuan hubungan antara suhu kecerahan data MTSAT dengan curah hujan data QMorph. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 6: 32-42.
- Parwati, A. Zubaidah, Y. Vetrira, F. Yulianto, K. Ayu, dan M.R. Khomarudin. 2012. Kapasitas indeks lahan terbakar Normalized Burn Ratio (NBR) dan Normalized Difference vegetation Index (NDVI) dalam mengidentifikasi bekas lahan terbakar berdasarkan data SPOT-4. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 18(1): 29-41.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2013. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2013 Nomor 133.
- Prasasti, I., I. Carolita, A.E. Ramdani, dan I. Risdiyanto. 2012. Kajian pemanfaatan data ALOS PALSAR dalam pemetaan kelembaban tanah. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 9(2): 102-113.
- Pusbangja – LAPAN. 2003. <http://www.lapanrs.com/> (diakses pada tanggal 27 November 2003)
- Pusfatja – LAPAN. 2016. <http://www.pusfatja.lapan.go.id/> (diakses pada tanggal 26 Mei 2016)
- Roswintarti, O., P. Sofan, dan N. Anggraini. 2011. Monitoring of drought-vulnerable area in Java Island, Indonesia using satellite remote sensing data. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 8: 21-34.
- Setiawan, Y., Liyantono, A. Fatikhunnada, P.A. Permatasari, dan M.R. Aulia. 2016. Dynamics pattern analysis of paddy fields in Indonesia for developing a near real-time monitoring system using MODIS satellite images. *Procedia Environmental Sciences*, 33: 108-116.
- Suwarsono, J.T. Nugroho, dan Wiweka. 2013. Identification of inundated area using Normalized Difference Water Index (NDWI) on lowland region of Java Island. *International Journal of Remote Sensing and Earth Science*, 10: 114-121.
- Tursilowati, L., J.T.S. Sumantyo, H. Kuze, dan E.S. Adiningsih. 2012. Remote sensing technology for estimation of surface energy balance components related with land use and land cover in Semarang-Indonesia. *Research Journal in Engineering and Applied Sciences*, 1(5): 291-298.
- Velupuri, N.M., G.B. Senay, dan J.T. Morisette. 2016. Evaluating new SMAP soil moisture for drought monitoring in the rangelands of the US high plains. *Rangelands*, 38(4): 183-190.
- Yigzaw, W. dan F. Hossain. 2015. Inferring anthropogenic trends from satellite data for water-sustainability of US cities near artificial reservoirs. *Global and Planetary Change*, 133: 330-345.
- Zhou, Y., S. Jin, R. Tenzer, dan J. Feng. 2016. Water storage variations in the Poyang Lake Basin estimated from GRACE and satellite altimetry. *Geodesy and Geodynamics*, 7(2): 108-116.