

# PENGAJIAN PEMANFAATAN DATA PENGINDERAAN JAUH MULTI SKALA/RESOLUSI UNTUK KEGIATAN MITIGASI BENCANA

M. Rokhis Khomarudin<sup>\*)</sup>, Dedi Irawadi<sup>\*)</sup>, Suwarsono<sup>\*)</sup>, Parwati<sup>\*)</sup>

<sup>\*)</sup>Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

e-mail: Rokhis.Khomarudin@lapan.go.id

## Abstract

Utilization of remote sensing data for disaster mitigation have been carried out. Early warning in disaster risk reduction, rapid detection of the disaster area, and the analysis of calculation of the damage area are several applications of remote sensing for disaster mitigation. The diversity of remote sensing data from all kinds of resolution is an advantage and disadvantage in the use of remote sensing for disaster mitigation. This paper presents the results of assessment of the utilization of remote sensing data of multi -scale / resolution for emergency response activities. The scopes of the utilization of remote sensing data disclosed in this paper. An example is the use of data NOAA AVHRR, TERRA/AQUA MODIS, and VIIRS NOAA in monitoring hotspots. The information presented has the advantage because of the high temporal resolution, so it can be used to quickly identify areas of land / forest fires in an area. However, because the spatial resolution of approximately 1 km x 1 km, then the information on the coordinates of the point fire are delivered can have an error less than 1 km or even more if it is not accurate geometric correction. Likewise with other information such as potential flooding, drought, and volcanic eruptions. This paper will provide an overview of the public about the advantages and disadvantages of remote sensing data of multi -scale / resolution for disaster mitigation activities

**Key Words:** *Flood, high-resolution remote sensing, building vulnerability, socio-economic, risk of flooding*

## Abstrak

Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana telah banyak dilakukan. Peringatan dini dalam upaya pengurangan resiko bencana, deteksi cepat daerah bencana, dan analisis perhitungan daerah rusak merupakan beberapa aplikasi penginderaan jauh untuk mitigasi bencana. Keberagaman data penginderaan jauh dari segala macam resolusi merupakan suatu keunggulan dan juga kelemahan dalam pemanfaatan penginderaan jauh untuk mitigasi bencana. Tulisan ini menyajikan hasil pengkajian pemanfaatan data penginderaan jauh multi skala/resolusi untuk kegiatan tanggap darurat bencana. Batasan-batasan pemanfaatan data penginderaan jauh diungkapkan dalam makalah ini. Sebagai contoh adalah pemanfaatan data NOAA AVHRR, TERRA/AQUA MODIS, dan NOAA VIIRS dalam melakukan pemantauan hotspot. Informasi yang disajikan memiliki keunggulan karena resolusi temporal yang tinggi, sehingga dapat digunakan dengan cepat identifikasi daerah kebakaran lahan/hutan di suatu daerah. Namun, karena resolusi spasial sekitar 1 km x 1 km, maka informasi titik api dalam koordinat yang disampaikan dapat memiliki *error* kurang lebih dari 1 km atau bahkan lebih jika koreksi geometriknya tidak akurat. Demikian halnya dengan informasi yang lain seperti potensi banjir, kekeringan, dan juga letusan gunung api. Tulisan ini akan memberikan gambaran kepada masyarakat mengenai keunggulan dan kelemahan data penginderaan jauh multi skala/resolusi untuk kegiatan mitigasi bencana.

**Kata Kunci:** *Penginderaan jauh, mitigasi bencana, batasan informasi, resolusi*

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya baik dari sisi sumberdaya alam dan juga bencana. Jika dilihat dari sisi jumlah korban dan kerugiannya, bencana merupakan suatu hal yang memiliki sisi negatif. Namun jika dilihat dari sisi sumberdaya, maka bencana merupakan suatu kekayaan tersendiri bagi Indonesia. Penelitian dan pengembangan dalam hal bencana akan membuat kekayaan riset yang sangat besar, sehingga dapat digunakan untuk mengurangi resiko bencana di negaranya dan bahkan sebagai rujukan bagi negara lain dalam menangani bencana yang serupa. Salah satu penelitian dan pengembangan yang merupakan kekayaan riset Indonesia adalah bagaimana memanfaatkan data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana. Beberapa aplikasi penginderaan jauh sudah banyak dikembangkan antara lain untuk analisa bahaya dan resiko bencana (Samarasinghe, *et al.* (2010)), tanggap darurat bencana (Joyce, *et al.* (2009)), deteksi kerusakan akibat bencana (Piggot, *et al.* (2012)), dan juga rehabilitasi dan rekonstruksi

kerusakan akibat bencana (Brown, *et al.* (2008)). Namun, dalam memanfaatkan data penginderaan jauh haruslah memperhatikan segi keunggulan dan kelemahan dari karakteristik data yang digunakan.

Hal yang penting dalam pemanfaatan penginderaan jauh untuk mitigasi bencana adalah masalah resolusi spasial maupun resolusi temporal. Masing-masing resolusi memiliki kelemahan dan keunggulan. Data satelit resolusi temporal tinggi (per jam) misalnya dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dalam setiap jamnya sehingga secara cepat dapat diketahui perkembangan kondisi cuaca maupun sebaran asap secara cepat. Namun, biasanya data penginderaan jauh resolusi temporal tinggi memiliki resolusi spasial rendah yang tidak dapat mendeteksi obyek permukaan bumi secara detail. Sebaliknya satelit resolusi spasial tinggi dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan akibat bencana, namun secara temporal waktunya lebih lama, sehingga pemetaan cepat kerusakan bencana agak sulit dilakukan. Untuk menutupi kelemahan ini, beberapa negara telah mengembangkan sistem konstelasi satelit dengan menggabungkan beberapa satelit untuk keperluan bersama, sehingga dapat diperoleh data yang cepat dengan resolusi spasial yang tinggi.

Selain resolusi spasial dan temporal, hal lain yang lebih penting adalah masalah jenis sensor satelit apakah optis atau radar. Optis memiliki kelemahan adanya awan, dan di wilayah tropis di Indonesia hal ini merupakan suatu kendala utama. Beberapa kasus kegiatan tanggap darurat bencana pada saat musim hujan, data optis tidak dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi daerah yang terkena bencana karena tertutup oleh awan. Opsi yang lain adalah menggunakan data radar. Namun, pada saat ini data radar merupakan data yang lumayan mahal, dan ketersediaan datanya tidak sebagus data optis, dan metode pengolahannya yang sedikit kompleks membuat data ini jarang digunakan. Beberapa riset sudah baik menggunakan data radar untuk mendeteksi daerah kerusakan akibat bencana (Brunner *et al.* (2010)).

Tulisan ini tidak membahas kelemahan dan kekurangan masing-masing satelit, namun akan memberikan suatu pembelajaran untuk memanfaatkan data satelit penginderaan jauh yang ada dalam upaya mitigasi bencana. Penjelasan-penjelasan kesalahan (*error*) dan ketidakpastian (*uncertainty*) dari pemanfaatan data penginderaan jauh akan dibahas, sehingga pembaca dapat memahami jika menggunakan data yang tersedia tersebut dengan bijak untuk keperluan mitigasi bencana.

## 1.2. Tujuan

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk memperlihatkan potensi pemanfaatan penginderaan jauh berbagai resolusi (multi resolusi) untuk kegiatan mitigasi bencana. Hal ini dapat digunakan agar masyarakat mengetahui secara benar pemanfaatan data penginderaan jauh dengan mengetahui error dan ketidakpastian dari data yang digunakan.

## 2. Metode Pengkajian

Studi literatur merupakan tahap awal yang dilakukan untuk melihat sejauh mana data penginderaan jauh telah dimanfaatkan untuk kegiatan mitigasi bencana. Keterbatasan-keterbatasan data penginderaan jauh akan dapat disebutkan dengan melihat berbagai macam aplikasi yang telah digunakan. Berbagai

macam literatur tentang aplikasi penginderaan jauh untuk mitigasi bencana telah dilakukan sebagai dasar pengkajian ini.

Tahap selanjutnya adalah pengkajian model-model yang telah dikembangkan di Indonesia khususnya Lapan terkait dengan pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana. Hal ini juga akan mengungkap pengalaman-pengalaman penelitian dan pengembangan pemanfaatan penginderaan jauh untuk mitigasi bencana. Keterbatasan-keterbatasan juga akan diketahui dengan mengkaji pengalaman model yang telah dikembangkan. Pada tulisan ini dikaji model sistem peringkat bahaya kebakaran, model potensi banjir harian, model pemantauan hotspot, potensi kekeringan, dan sistem quick response bencana.

Perumusan hasil kajian merupakan tahapan akhir dari kegiatan ini. Dalam sistematika penulisan selanjutnya, hasil pengkajian dibagi menjadi sub bag disesuaikan dengan jenis bencana yang ada di Indonesia. Misalnya, pada aplikasi bencana banjir, penggunaan data penginderaan jauh resolusi temporal tinggi mempunyai keunggulan dapat menyajikan potensi hujan per jam, namun tidak bisa dimanfaatkan untuk deteksi daerah terkena banjir karena resolusi spasialnya tidak memadai. Demikian juga dengan bencana lainnya.

### 3. Hasil Pengkajian

#### 3.1. Banjir

Aplikasi penginderaan jauh untuk banjir telah banyak dilakukan dengan berbagai resolusi dan jenis satelit. Beberapa kegiatan seperti penentuan daerah bahaya dan resiko banjir, perubahan lahan penyebab banjir, deteksi daerah terkena banjir, dan model simulasi banjir merupakan suatu aplikasi yang sering dilakukan dalam upaya mitigasi banjir. Setiap step dalam manajemen bencana bencana banjir dapat dilakukan dengan data penginderaan jauh, misalnya untuk tahap sebelum bencana, analisa daerah bahaya dan resiko, peringatan dini, dan model simulasi banjir dilakukan untuk dapat dalam upaya pencegahan bencana. Pada tahap saat bencana deteksi daerah yang tergenang atau terkena banjir dapat dilakukan dengan cepat dengan metode tertentu. Analisa kerusakan setelah hal tersebut juga merupakan aplikasi yang dapat menggunakan data penginderaan jauh.

Pada aplikasi analisa bahaya dan resiko banjir, kesalahan (*error*) dan ketidakpastian (*uncertainty*) dari hasil yang diperoleh disebabkan karena resolusi spasial data penginderaan jauh atau turunannya yang dipergunakan dalam analisa. Sebagai contoh, data DEM yang digunakan adalah data SRTM yang memiliki resolusi spasial 90 m atau 30 m, artinya dalam ukuran 90 x 90 m (8100 m<sup>2</sup> atau 0.81 ha) dianggap sama ketinggiannya, demikian hal yang sama dengan menggunakan resolusi spasial 30 m. Hal ini error yang nyata dalam penggunaan data resolusi menengah, dalam berbagai kasus pemodelan, data DEM SRTM resolusi spasial 90 m atau 30 m tidak dapat memberikan gambaran yang sebenarnya dilapangan secara detail. Namun, resolusi ini dapat digunakan untuk analisa bahaya dan resiko banjir dalam skala regional, provinsi, atau kabupaten dan memberikan gambaran yang cukup baik bagi perencanaan wilayah di kabupaten yang bersangkutan. Untuk wilayah kecamatan atau kelurahan data ini kurang memadai, demikian juga untuk model simulasi banjir yang sangat detail.

Dalam aplikasi untuk pemantauan potensi banjir harian yang telah dioperasionalkan oleh Lapan dan informasinya selalu diperbaharui setiap hari di website SIMBA memiliki *error* dan *uncertainty* dari metode klasifikasi awan penyebab hujan, estimasi curah hujan, dan juga resolusi temporal dari data yang digunakan. Namun keunggulan data ini adalah memiliki resolusi temporal yang tinggi per jam, sehingga kondisi cuaca atau peluang curah hujan tinggi dapat diketahui secara cepat. Hal lainnya yang menyebabkan *error* dan *uncertainty* dari peta daerah yang sering terjadi genangan atau banjir yang diperoleh dari Kementerian Pekerjaan Umum yang tidak diperbaharui dengan data terbaru.

Aplikasi-aplikasi lainnya tentu juga memiliki tingkat *error* dan *uncertainty* yang berasal baik dari resolusi spasial atau metode yang digunakan. Pengkajian tingkat *error* dan *uncertainty* masih jarang dilakukan dalam beberapa analisa penggunaan data penginderaan jauh untuk aplikasi banjir. Tabel 3-1 berikut menunjukkan aplikasi dari beberapa data penginderaan jauh yang sering digunakan untuk mitigasi bencana banjir.

Tabel 3-1. Jenis data penginderaan jauh dan aplikasi untuk banjir

No.	Jenis Data Penginderaan Jauh	Pemanfaatan	Sumber <i>Error</i> dan <i>Uncertainty</i>	Keunggulan
1.	MTSAT	Potensi banjir harian	Resolusi spasial dan metode klasifikasi awan	Resolusi temporal tinggi
2.	NOAA	Potensi banjir harian	Resolusi spasial dan metode klasifikasi awan	Resolusi temporal tinggi
3.	Terra Aqua MODIS	Deteksi daerah terkena banjir	Resolusi spasial, model yang digunakan	Resolusi temporal tinggi
4.	DEM SRTM (90 atau 30 m)	Analisa daerah bahaya banjir Model simulasi banjir	Resolusi spasial	Dapat digunakan untuk skala regional misalnya kabupaten
5.	Landsat TM/ETM	Perubahan penggunaan lahan Analisa daerah bahaya banjir Deteksi daerah terkena banjir	Resolusi spasial dan metode deteksi banjir	multispektral
6.	IKONOS atau Quickbird	Deteksi genangan Perencanaan kota	Metode analisa genangan, digitasi	Resolusi spasial tinggi
7.	SAR	Deteksi Genangan	Metode deteksi genangan	Bebas awan

Untuk deteksi daerah terkena banjir, multi resolusi dapat digunakan, seperti dengan menggunakan MODIS, Landsat, IKONOS/QuickBird, dan juga data SAR. Perbedaannya adalah masalah dengan resolusi spasial dan juga akurasi model. Akurasi deteksi daerah banjir dengan MODIS akan lebih rendah

dibandingkan dengan Landsat, IKONOS maupun SAR. Akurasi sebesar 60% untuk pendeteksian daerah genangan dengan data MODIS sudah dapat diterima, namun digunakan untuk estimasi global atau awal dari suatu pendeteksian. Keunggulan data MODIS adalah lebih cepat, lebih cepat menyampaikan informasi akan lebih baik dalam kegiatan tanggap darurat bencana.

### 3.2. Kekeringan

Selain banjir, kekeringan merupakan bencana hidrometeorologis yang juga sering terjadi pada saat musim kemarau di Indonesia. Beberapa kasus dan kejadian kekeringan di Indonesia lebih banyak kekeringan agronomis di lahan sawah yang dapat menyebabkan gagal panen. Kebakaran lahan gambut pada saat musim kemarau juga dapat diakibatkan karena kekeringan melanda suatu wilayah. Kekeringan yang lahan dapat terjadi wilayah Nusa Tenggara Timur yang menurut Schidmt-Fergusson memiliki tipe iklim E.

Pemantauan kekeringan dengan data penginderaan jauh sudah banyak dikembangkan. Indeks-indeks yang dapat menjadi indikator kekeringan seperti NDVI, SAVI, dan VHI telah dikembangkan untuk mendeteksi kekeringan suatu vegetasi di suatu wilayah. Selain itu, untuk kekeringan lahan juga telah dikembangkan dengan memanfaatkan kanal thermal data satelit untuk menghitung fraksi kekeringan dengan neraca energi.

Aplikasi penginderaan jauh untuk kekeringan lebih banyak menggunakan data resolusi rendah hingga menengah dan bersifat pemantauan. Data NOAA AVHRR, Terra/Aqua MODIS, dan Data MTSAT merupakan data yang efektif untuk memantau kekeringan karena memiliki resolusi temporal yang tinggi. Kekeringan biasanya memiliki luasan yang luas karena terkait dengan klimatologi suatu wilayah. Skala nasional maupun regional kabupaten sudah baik dilakukan untuk memantau kekeringan dengan data satelit penginderaan jauh. *Error* dan *uncertainty* dari hasil pemantauan dipengaruhi oleh model atau metode yang digunakan, dan juga resolusi spasial dari citra satelit.

Terdapat beberapa model yang telah dikembangkan adalah model pemantauan kekeringan di lahan sawah, standardized precipitation index (SPI), dan vegetation health index (VHI). Model digunakan untuk mengetahui tingkat kekeringan di suatu wilayah dengan menggunakan satelit resolusi rendah. Oleh karena itu *error* dan *uncertainty* sangat dipengaruhi oleh resolusi spasial selain juga model yang digunakan. Khusus untuk pemantauan kekeringan lahan sawah *error* dan *uncertainty* sangat dipengaruhi oleh peta tematik lahan sawah yang digunakan.

### 3.3. Kebakaran lahan/hutan

Pembahasan khusus tentang kebakaran diluar kekeringan karena aplikasi penginderaan jauh untuk kebakaran lahan/hutan sangat berkembang. Pemantauan titik panas (hotspot) dan deteksi daerah bekas kebakaran merupakan kegiatan-kegiatan sering dilakukan di berbagai negara demikian juga di Indonesia. Dalam melakukan pemantauan titik panas, digunakan data resolusi spasial rendah (sekitar 1 Km<sup>2</sup>), namun memiliki resolusi temporal yang tinggi. Data satelit dengan resolusi temporal rendah tidak akan dapat

digunakan untuk memantau titik panas, karena kebakaran lahan sudah selesai dalam kurun waktu tertentu. Resolusi tinggi dapat digunakan untuk analisa visual sebaran asap akibat kebakaran.

*Error* dan *uncertainty* dalam pemantauan hotspot dipengaruhi oleh model atau metode yang digunakan, koreksi geometric, dan resolusi spasial. Koordinat titik panas suatu tempat bisa memiliki error sekitar 1-3 km dari lokasi yang ditunjukkan. Sumber panas lain selain kebakaran lahan juga dapat dideteksi sebagai titik panas, dan hal ini merupakan sumber error dari pemantauan hotspot.

Data resolusi tinggi dapat digunakan untuk deteksi daerah bekas kebakaran. Beberapa penelitian telah memanfaatkan data Terra/Aqua MODIS, Landsat TM/ETM, dan SPOT 4/5/6 untuk kegiatan tersebut. Tentunya kesalahan tergantung dari resolusi spasial dan juga metode yang digunakan. Namun, untuk data MODIS memiliki keunggulan resolusi temporalnya tinggi dan cakupan wilayah sekali potretnya sangat luas, sehingga untuk kebutuhan pemantauan global, data ini yang paling cocok digunakan. Akurasi deteksi daerah kebakaran dengan MODIS sebesar 60% sudah cukup memadai untuk keperluan pemetaan cepat daerah bekas kebakaran.

### **3.4. Gunung Api**

Pemantauan suhu puncak gunung api untuk peringatan dini letusan gunung api pernah dilakukan oleh Lapan, namun kelihatannya kurang berhasil. Beberapa literatur juga memperlihatkan potensi pemantauan suhu gunung api dengan kanal thermal resolusi temporal tinggi. Namun operasionalisasinya masih kesulitan karena resolusi spasialnya yang rendah, sehingga suhu puncak gunung tercampur dengan lingkungan sekitarnya. Selain itu, puncak gunung yang selalu diliputi awan akan terasa sulit untuk dilakukan pemantauan suhu puncak gunung.

Data resolusi spasial tinggi dan DEM lebih banyak digunakan untuk aplikasi di gunung api seperti dalam penentuan zona bahaya dan analisa resiko gunung api, dan daerah yang terkena letusan gunung api. Data resolusi spasial rendah akan kurang efektif dalam pemantauan gunung api.

### **3.5. Gempa Bumi**

Analisa daerah patahan penyebab gempa bumi hanya dapat dilihat dari data penginderaan jauh resolusi menengah dan tinggi. Namun resolusi menengah akan lebih efektif karena cakupan sekali potret lebih tinggi dibandingkan data resolusi lebih tinggi. Data resolusi tinggi dan juga SAR dapat digunakan untuk analisa kerusakan bangunan akibat gempa.

## **4. Parameter, potensi data, dan keterbatasannya**

Berdasarkan hasil pengkajian yang telah dilakukan dengan memperhatikan keunggulan dan keterbatasan dari suatu data satelit penginderaan jauh, dapat disarikan beberapa parameter yang dapat diturunkan dengan data satelit penginderaan jauh, potensi penggunaan data penginderaan jauh dalam menurunkan parameter tersebut, dan juga keterbatasan dari data penginderaan jauh yang digunakan tersebut. Hasil ringkas tersaji pada Tabel 4-1. berikut.

No.	Parameter	Potensi data	Keterangan keterbatasan data
<b>I. Sistem Peringatan Bencana</b>			
1.1.	Potensi awan hujan	MTSAT, NOAA, MODIS	Resolusi rendah, namun informasi yang dihasil cepat. Data resolusi spasial tinggi kurang sesuai untuk parameter ini.
1.2.	Estimasi unsur cuaca untuk sistem peringkat bahaya kebakaran	MTSAT, TRMM, NOAA, MODIS	Paling tepat menggunakan data resolusi spasial tinggi karena keperluannya adalah informasi harian
1.3.	Indek kekeringan (NDVI, SAVI, Evaporatif Fraction)	MTSAT, TRMM, NOAA, MODIS, LANDSAT	Resolusi menengah masih dapat digunakan untuk pemantauan 8 harian atau 16 harian. Resolusi tinggi kurang tepat dalam pemanfaatan ini.
1.4.	Suhu permukaan daratan (untuk gunung api)	NOAA, MODIS, Landsat	Resolusi menengah masih dapat digunakan untuk pemantauan 8 harian atau 16 harian. Resolusi tinggi kurang tepat dalam pemanfaatan ini
1.5.	Titik panas indikator kebakaran lahan/hutan	NOAA dan MODIS	Resolusi menengah dan tinggi kurang sesuai untuk aplikasi ini.
<b>II. Analisa bahaya dan resiko bencana</b>			
2.1.	DEM	SRTM, ASTER, IFSAR, SPOT6 Tristereoo	Lebih baik menggunakan data resolusi spasial tinggi, DEM tidak terlalu banyak tergantung dari waktu. Lebih banyak data SAR yang digunakan, namun data optis juga dapat digunakan jika satelit memotret dari sudut yang berbeda.
2.2.	Settlement area dan penggunaan lahan lainnya	MODIS, Landsat, ASTER, SPOT, IKONOS, Pleiades Quickbird, Worldview, SAR	Keterbatasan dan perbedaan hanya dari sisi resolusi spasial, semakin tinggi resolusi kedetailan informasi akan lebih tinggi.
2.3.	Sosial Ekonomi	SPOT, IKONOS, QUICKBIRDS, Pleiades, Worldview	Lebih banyak menggunakan data resolusi spasial tinggi, namun masih ada kemungkinan

No.	Parameter	Potensi data	Keterangan keterbatasan data
			menggunakan data resolusi spasial menengah dan rendah dalam estimasi jumlah penduduk dan GDP suatu negara.
<b>III.</b>	<b>Deteksi Daerah Terkena Bencana</b>		
3.1.	Luas terkena bencana (kerusakan lahan)	MODIS, Landsat, ASTER, SPOT, IKONOS, Pleiades Quickbird, Worldview, SAR	Keterbatasan dan perbedaan hanya dari sisi resolusi spasial, semakin tinggi resolusi kedetailan informasi akan lebih tinggi.
3.2.	Kerusakan bangunan	Pleiades, IKONOS, Quickbird, Worldview, SAR	Data resolusi spasial rendah tidak disarankan penggunaannya.

## 5. Kesimpulan

Hasil kajian ini menunjukkan bahwa penggunaan data satelit penginderaan jauh untuk mitigasi bencana dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Jika informasi yang dibutuhkan sangat cepat, maka akurasi rendah bisa ditoleransi dengan menggunakan data resolusi temporal yang tinggi. Untuk keperluan praktis dan perencanaan global/umum informasi tersebut masih relevan. Data resolusi tinggi sangat bermanfaat untuk deteksi kerusakan bangunan/rumah, demikian juga kerusakan penggunaan lahan penting seperti sawah, tambak, perkebunan, dan juga hutan. Waktu perolehan yang membutuhkan waktu lebih lama masih dapat diterima namun tingkat kedetailan informasi yang lebih tinggi sangat diutamakan.

## 5. Daftar Rujukan

- Brown, D., Saito, K., Spence, R and Chenvidyakarn, T. 2008. Indicators for Measuring, Monitoring and Evaluating Post-Disaster Recovery. 6th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Applications
- Brunner, D., Lemoine, G., and Bruzzone, L. 2010. Earthquake Damage Assessment of Buildings Using VHR Optical and SAR Imagery. IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 48, NO. 5, MAY 2010.
- Joyce, K.E., Wright, K.C., Samsonov, S.V., and Ambrosia, V.G. 2009. Remote Sensing and The Disaster Cycle. Book. Advance in Geoscience and Remote Sensing. In Tech Europe.
- Piggott, R.F., Spence, R., Saito, K., Brown, D.M., and Eguchi, R. 2012. The use of remote sensing for post-earthquake damage assessment: lessons from recent events, and future prospects. 15 WCEE, Lisboa.
- Samarasinghe, S.M.J.S., Nandalal, H.K., Weliwitiya, D.P., Fowze, J.S.M., Hazarika, M.K., and Samarakoon, L. 2010. Application of Remote Sensing and GIS for Flood Risk Analysis: a Case Study at Kalu- Ganga River, Sri Lanka. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol.XXXVIII, Part 8, Kyoto, Japan.