

## Pengaruh Intensitas Hujan terhadap *Soil Water Index* (SWI) dengan Menggunakan Data Radar

Henggar Risa Destania<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Indo Global Mandiri Palembang  
Jl. Jend. Sudirman Km.4 No. 629 Kota Palembang 30129  
Email : [henggarrisa@uigm.ac.id](mailto:henggarrisa@uigm.ac.id)<sup>1)</sup>

### ABSTRACT

*Sediment-related disaster are terrible disaster that can catastrophically impact to facilities and people must to keep in mind to make sediment-related disaster information that can be predicted from rainfall and response of drainage area. Sediment-related disaster information whether sediment-related disaster risk is high or low could be informed in a real time based on rainfall indices by using X-band MP (Multi Parameter) rainfall radar. These system facilities a sophisticated measurement based on rainfall intensity (calculated using the distribution of precipitations and the polarization phase difference) and more sensitive to rain attenuation phenomena. It shows the water storage volume in soil layer with calculation of soil water index (SWI) by using X-band MP rainfall radar data that has been installed at the top of Merapi Mountain (Merapi Museum). Hyetograph shows that surface runoff (S1) has a linear and responsive relationship to rain because the first layer contains direct rainwater. The responsiveness of surface runoff is from the behavior of rainwater in the tank. This simulation is done to show the response of groundwater to a single rainfall event of 1 mm / hour and the movement of water storage in each of the three soil layers (S1, S2, S3). The hydrograph shows the entry of rainwater into the soil layer. Increased extreme lines show responsive lines due to the process of precipitation of rainwater to the soil layers, then reach a peak. After reaching the peak, the current will decrease until it approaches the value of 0 (zero) in 21 days.*

**Keywords :** *x-band, soil water index, short-term rainfall, long-term rainfall, intensity*

### ABSTRAK

*Bencana sedimen adalah bencana besar yang dapat berdampak bencana terhadap fasilitas dan masyarakat maka dari itu dibutuhkan informasi bencana sedimen yang dapat diprediksi dari curah hujan dan respon daerah drainase. Informasi bencana sedimen pada snakeline mengenai risiko bencana sedimen tinggi atau rendah dapat diinformasikan secara real-time berdasarkan indeks curah hujan dengan menggunakan radar X-band MP (Multi Parameter). Fasilitas sistem ini merupakan pengukuran yang canggih berdasarkan intensitas curah hujan (dihitung dengan menggunakan distribusi presipitasi dan perbedaan fase polarisasi) dan lebih sensitif terhadap fenomena redaman hujan. Ini menunjukkan volume penyimpanan air di lapisan tanah dengan perhitungan indeks air tanah (SWI) dengan menggunakan data radar curah hujan X-band MP yang telah dipasang di puncak Gunung Merapi (Museum Merapi). Hyetograph menunjukkan bahwa limpasan permukaan (S1) memiliki hubungan linear dan responsif terhadap hujan karena lapisan pertama berisi air hujan langsung. Daya tanggap limpasan permukaan berasal dari perilaku air hujan di dalam tangki. Simulasi ini dilakukan untuk menunjukkan respon air tanah terhadap kejadian curah hujan tunggal 1 mm / jam dan pergerakan penyimpanan air di masing-masing dari tiga lapisan tanah (S1, S2, S3). Hidrograf menunjukkan masuknya air hujan ke lapisan tanah. Peningkatan garis ekstrem menunjukkan garis responsif akibat proses pengendapan air hujan ke lapisan tanah, kemudian mencapai puncaknya. Setelah mencapai puncak, arus akan berkurang hingga mendekati nilai 0 (nol) dalam 21 hari.*

**Kata kunci :** *x-band, soil water index, hujan jangka pendek, hujan jangka panjang, intensitas*

1. Pendahuluan

Bencana sedimen adalah bencana besar yang dapat berdampak bencana terhadap fasilitas dan masyarakat maka dari itu dibutuhkan informasi bencana sedimen yang dapat diprediksi dari curah hujan dan respon daerah drainase. Bencana sedimen sangat dipengaruhi oleh tingkat kondisi vegetasi, geologi, pelapukan dan air tanah maka tidak memungkinkan untuk menentukan tempat dan kapan terjadi bencana.

Informasi bencana sedimen pada *snakeline* mengenai risiko bencana sedimen tinggi atau rendah dapat diinformasikan secara *real-time* berdasarkan indeks curah hujan dengan menggunakan radar X-band MP (*Multi Parameter*). Fasilitas sistem ini merupakan pengukuran yang canggih berdasarkan intensitas curah hujan (dihitung dengan menggunakan distribusi presipitasi dan perbedaan fase polarisasi) dan lebih sensitif terhadap fenomena redaman hujan. Bencana sedimen ini banyak menimbulkan korban sehingga harus memberikan dukungan teknologi dan sistem untuk penyediaan informasi.

Data dari radar X-band MP (*Multi Parameter*) akan memberikan informasi intensitas curah hujan dalam bentuk *grid* yang lebih proporsional sehingga area hujan yang nilainya akan berbeda dari yang tidak terkena hujan. Data hujan yang berasal dari estimasi radar X-band MP dalam format grafis dengan perbedaan warna untuk area intensitas yang lebih tinggi. Dengan cara ini, curah hujan di daerah tangkapan air dapat terwakili dengan lebih baik. Radar ini juga memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi dan cocok untuk daerah pegunungan karena ukurannya yang kecil dan berat sehingga rata-rata curah hujan regional juga dapat diprediksi dengan lebih baik kapan pun karena pergerakan dan perkembangan hujan dapat terus dipantau dengan pemindaian.

A. Tujuan Penelitian

Penelitian ini menghasilkan indeks penting mengenai presipitasi yang terkait dengan bencana sedimen dan menunjukkan status terkini dari tahap respon daerah drainase terhadap curah hujan dengan menggunakan beberapa indeks jangka pendek dan panjang. Ini menunjukkan volume penyimpanan air di lapisan tanah dengan perhitungan indeks air tanah menggunakan model tangki dengan menggunakan data radar curah hujan X-band MP (*Multi Parameter*) yang telah dipasang di puncak Gunung Merapi (Museum Merapi) Yogyakarta pada tahun 2015.

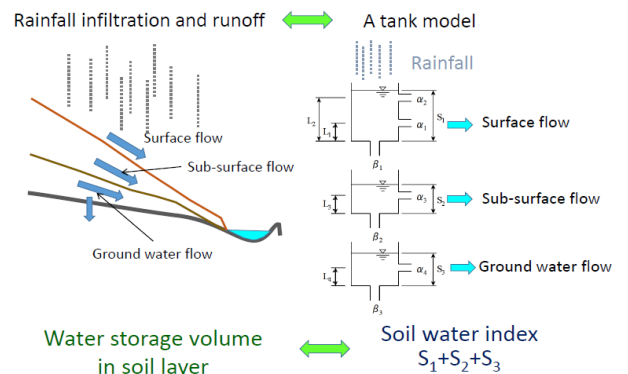
B. Landasan Teori

Osanai, dkk (2010) menyatakan bahwa pekerjaan pencegahan yang mencakup tindakan struktural dan non-struktural terhadap bencana sedimen yang terkait dengan gerakan massa, didefinisikan sebagai jenis gerakan massa seperti (1) aliran debris, (2) kegagalan lereng, (3) tanah longsor (tanah longsor yang dalam). Model tangki adalah model hidrologi yang biasanya digunakan untuk menghitung debit air dan jumlah di

lapisan tanah dekat permukaan dan memperkirakan jumlah total air hujan di dalam tanah dari data curah hujan (Chen, et al., 2017).

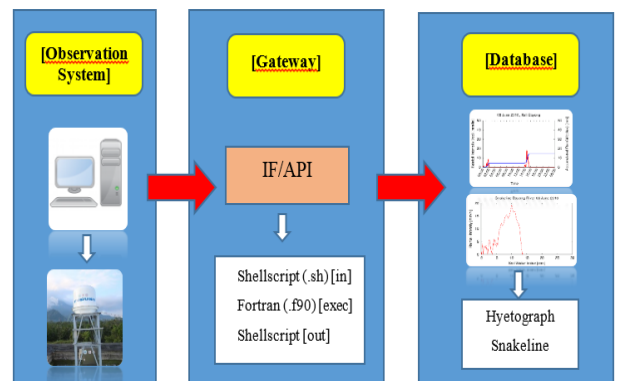
Indeks air tanah yang kemudian selanjutnya disebut SWI adalah salah satu indeks curah hujan yang telah digunakan untuk sistem peringatan dini yang oleh Kementerian Pertanian, Infrastruktur, Transportasi dan Pariwisata (MLIT) dan Badan Meteorologi Jepang (JMA).

Okada (2005) dalam Osanai, dkk (2010) mendefinisikan bahwa SWI adalah model konsep yang menggunakan nilai yang dihitung dari kedalaman air total model tangki tiga lapis yang diperkirakan menggunakan parameter tetap. *Soil water index* (SWI) adalah total jumlah penyimpanan air yang tersisa di masing-masing tangki. Ini sesuai dengan jumlah kelembaban di dalam tanah. Seperti hujan, curah hujan akan mengalir di permukaan, mengalir ke sungai dan meresap ke tanah. Model tangki menunjukkan proses presipitasi dan penguapan yang di implementasikan ke dalam model tangki.



Gambar 1. Konsep SWI dengan menggunakan model tangki beserta dengan parameternya

Komponen struktur untuk rangkaian analisis dalam penelitian ini dilakukan agar mudah dipahami untuk proses analisa pola curah hujan dan rantai bencana sebagai respon dari daerah tangkapan Boyong. Strukturnya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Komponen struktur untuk rangkaian analisis penelitian

2. Pembahasan

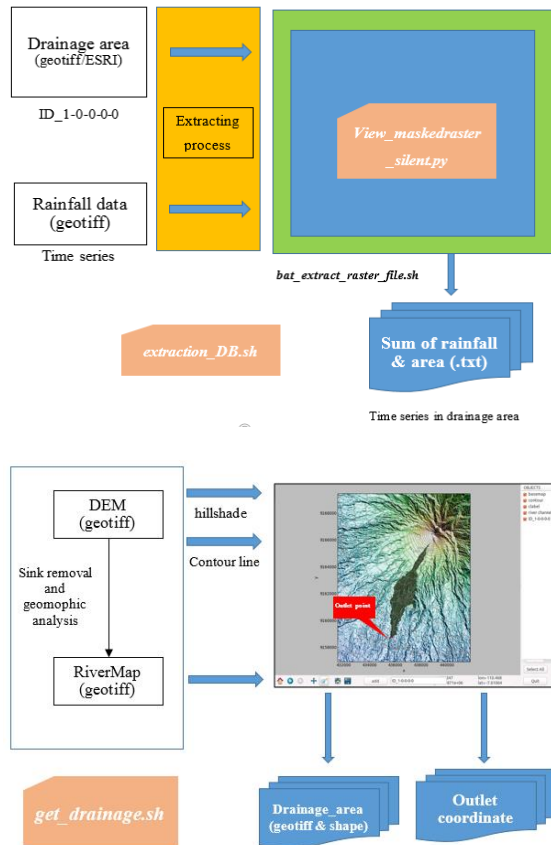
A. Kebutuhan data

Penelitian ini menggunakan beberapa data pendukung untuk membuat analisa *snakeline* yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Data

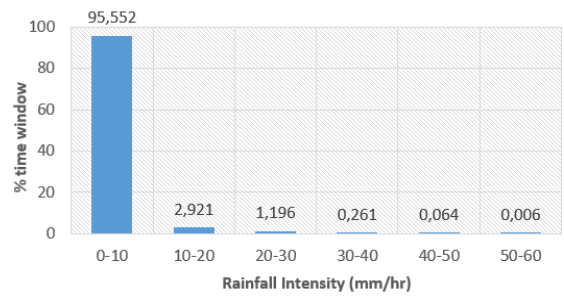
No	Data type	Details	Purpose	Source
1.	Rainfall data (spatial)	Continuous rainfall every 2 minute from June 2016 – June 2017 (1 year)	Rainfall characteristics	X-band MP rainfall radar
2.	DEM	SRTM1 (30m) - 30 m resolution	- Determination of watershed - Delineation of watershed	- <a href="https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/">https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/</a> (open source)
		ASTGTM2 (30m) - 30 m resolution		- <a href="https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/">https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/</a> (open source)
		ALOS3WD (5m) - 10 m and 15 m resolution		- SATREPS (Tsukuba server) (purchase)

Delineasi daerah drainase dilakukan dengan menggunakan perintah (*command*) untuk mendapatkan daerah tangkapan air dengan keluaran berbentuk bentuk ESRI dan file geotiff dengan koordinat outlet (BO-D5) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Konsep analisis daerah tangkapan air dan extract data hujan di Boyong

B. Hasil dan Analisis



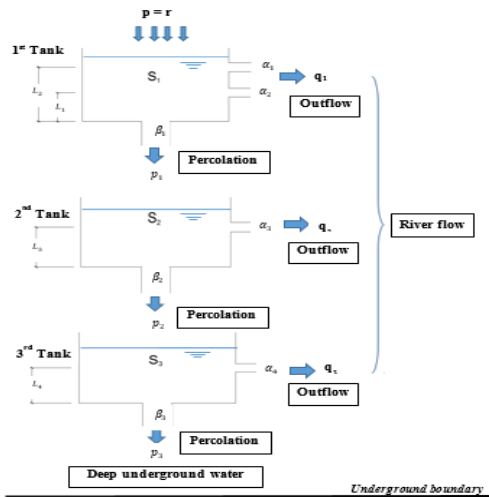
Gambar 4 . Histogram time window dari frekuensi rata-rata dengan beberapa interval intensitas hujan di Boyong (BO-D5)

Gambar 4 menunjukkan frekuensi rata-rata intensitas curah hujan dari dataset (Juni 2016 - Juni 2017) di Boyong (BO-D5) yang dibagi menjadi beberapa interval intensitas curah hujan. Dengan menggunakan radar X-band MP, daerah tangkapan air Boyong memiliki jumlah kejadian curah hujan tertinggi yang tercatat intensitas curah hujan 0 - 10 mm / jam dengan konsentrasi 95,552 persen, diikuti oleh intensitas curah hujan 10 - 20 mm / jam dengan 2,921 persen, 20 - Intensitas curah hujan 30 mm / jam dengan intensitas hujan 1,196 persen, intensitas hujan 30 - 40 mm / jam dengan intensitas hujan 0,261 persen, intensitas hujan 40 - 50 mm / jam dengan intensitas curah hujan 0,064 persen dan 50 - 60 mm / jam dengan 0,006 persen.

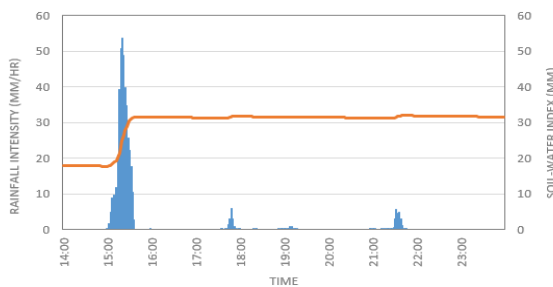
Program tiga lapis model tangki dilakukan dengan proses debug menggunakan program *Fortran* yang mendukung analisis numerik dan perhitungan ilmiah, pemrograman terstruktur, pemrograman *array*, komputasi kinerja tinggi pada superkomputer dan tingkat portabilitas yang wajar antara sistem komputer. Parameter tetap diidentifikasi dengan analisis statistik hubungan antara curah hujan dan debit yang dilakukan oleh Ishihara dan Kobatake. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan SWI di sungai Boyong (BO-D5) dengan menggunakan parameter tetap di daerah granit.

Tabel 2. Parameter Soil Water Index (SWI)

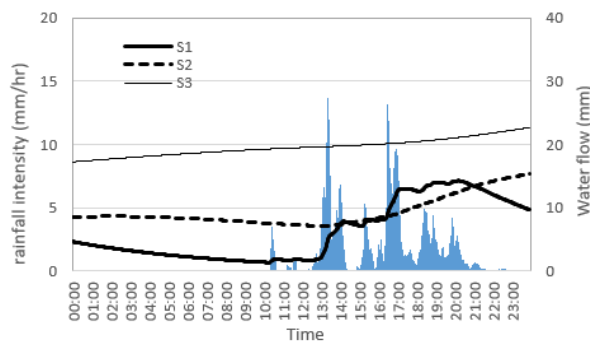
Tank Layer	Outflow height (mm)	Outflow coefficient (1/h)	Coefficient of Permeability (1/h)
First tank	$L_1 = 15$	$\alpha_1 = 0.1$	$\beta_1 = 0.12$
	$L_2 = 60$	$\alpha_2 = 0.15$	
Second tank	$L_3 = 15$	$\alpha_3 = 0.05$	$\beta_2 = 0.05$
Third tank	$L_4 = 15$	$\alpha_4 = 0.01$	$\beta_3 = 0.01$



Gambar 5. Skema empat lapis model tangki



Gambar 6. Hubungan antara intensitas hujan dan soil water index (mm) pada 20 October 2016 sebagai intensitas hujan tertinggi



Gambar 7. Hubungan antara intensitas hujan dan aliran air (S1, S2, S3) tanggal 26 October 2016

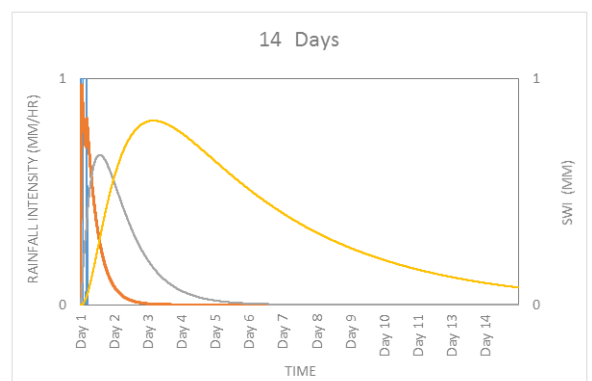
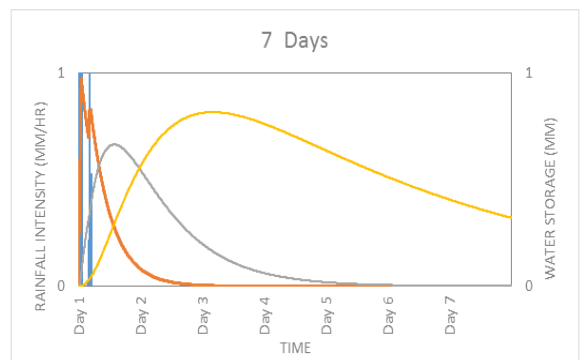
Gambar 6 menunjukkan hubungan antara *time series* intensitas curah hujan (mm / hr) dan SWI. Gambar ini menunjukkan perilaku *snake line* selama 20 Oktober 2016 terjadinya hujan dengan intensitas tertinggi selama beberapa menit dan hubungannya dengan SWI. SWI mewakili model konsep kandungan air tanah selama periode curah hujan. Karena intensitas curah hujan mencapai nilai tertinggi, indeks air tanah juga akan meningkat. Nilai SWI yang lebih tinggi menunjukkan risiko inisiasi bencana sedimen yang lebih tinggi.

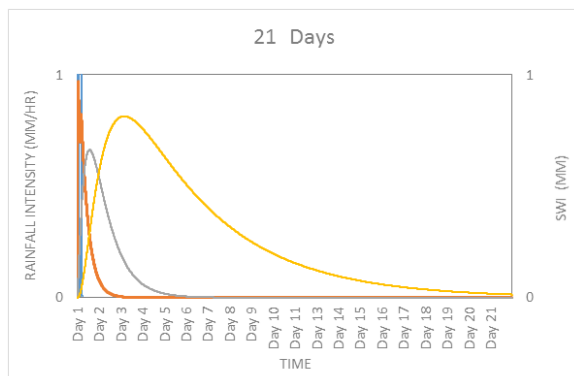
Hubungan antara intensitas curah hujan dan S1, S2, S3 sebagai penyimpanan air dari masing-masing tangki yang sesuai dengan aliran permukaan, aliran sub-

permukaan dan aliran airtanah dengan kondisi awal adalah 0 (nol) pada bulan Juni 2016 diidentifikasi pada Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan bahwa aliran permukaan (S1) memiliki hubungan linier dan responsif terhadap hujan karena lapisan pertama yang mengandung air hujan langsung. Sifat responsif aliran permukaan adalah dari perilaku air hujan di dalam tangki. Saat hujan turun ke lapisan permukaan maka ia langsung berpengaruh terhadap naiknya permukaan air di lapisan. Sub-surface flow (S2) sebagai lapisan kedua tidak terlalu terpengaruh pada pergerakan lapisan permukaan sesuai dengan koefisien permeabilitas yang lebih kecil dari lapisan permukaan. Tingkat air di lapisan permukaan (S1) bergantung pada kenaikan aliran keluar untuk aliran permukaan dan proses presipitasi ke lapisan sub-permukaan (S2) kemudian mengalir ke tanah sekitarnya. Jumlah air hujan di lapisan sub-permukaan (S2) berasal dari proses presipitasi lapisan permukaan (S1). Aliran airtanah (S3) sebagai lapisan ketiga memiliki jeda waktu dalam proses infiltrasi karena koefisien permeabilitas yang kecil dari lapisan sub-permukaan (S2). Jumlah air hujan di lapisan air tanah (S3) berasal dari proses presipitasi lapisan sub-permukaan (S2).

Berdasarkan hasil di atas, bagian penelitian ini menunjukkan kontribusi curah hujan terhadap SWI sehingga respon penyimpanan air dari masing-masing lapisan tanah tiga (S1, S2 dan S3) terhadap hujan dapat terlihat. Simulasi ini dilakukan untuk menunjukkan respon air tanah terhadap kejadian curah hujan tunggal sebesar 1 mm / jam.





**Gambar 8.** Hidrograf aliran air dalam lapisan tanah untuk 7, 14 sampai 21 hari.

Gambar 8 menunjukkan waktu resesi dari *soil water index* (SWI) sebagai respons pergerakan penyimpanan air di masing-masing tiga lapisan tanah (S1, S2, S3). Hidrograf di atas menunjukkan masuknya air hujan ke lapisan tanah. Garis ekstrem yang meningkat menunjukkan garis responsif karena proses presipitasi air hujan ke lapisan tanah, kemudian mencapai puncaknya. Setelah mencapai puncak, arus akan turun sampai mendekati nilai 0 (nol).

Menurut hasil di atas, durasi retensi air pada lapisan permukaan, lapisan *au-surface*, dan lapisan air tanah masing-masing empat hari, enam hari dan tiga minggu. Hal ini juga dapat dianggap bahwa setiap peristiwa curah hujan dalam waktu tiga minggu setelah curah hujan sebelumnya sesuai dengan akumulasi arus hujan sebelumnya.

No.	Month-Year	Rainfall Intensity max (mm/hr)	Rainfall condition	SWI max (mm)	Rank of SWI max	Exceeding SWI standard value (120 - 160 mm)
1.	June-16	23.18	LL	37.92	8	Not exceeding
2.	July-16	47.97	SH	27.05	11	Not exceeding
3.	August-16	19.15	SL	19.76	12	Not exceeding
4.	Sept-16	30.37	LH	32.25	10	Not exceeding
5.	Oct-16	53.51	LH	80.28	1	Not exceeding
6.	Nov-16	36.19	LH	57.85	4	Not exceeding
7.	Dec-2016	35.13	LH	57.83	5	Not exceeding
8.	Jan-17	32.09	LH	41.03	6	Not exceeding
9.	Feb-17	41.86	LH	67.14	3	Not exceeding
10.	March-17	49.11	LH	73.7	2	Not exceeding
11.	April-17	33.59	LH	38.75	7	Not exceeding
12.	May-17	15.79	SL	35.7	9	Not exceeding
13.	June-17	30.08	SH	17.13	13	Not exceeding

**Gambar 9.** Perubahan SWI di setiap bulan

Berdasarkan hasil perubahan SWI dan kondisi curah hujan dikelompokkan menjadi 4 jenis, short duration-high intensity (SH), short duration-low intensity (SL), long duration-high intensity (LH), long duration-low intensity (LL). Menurut hasil pada Gambar 4.3 diasumsikan bahwa curah hujan > 20 mm / jam dikategorikan sebagai intensitas tinggi.

Oktober 2016 sampai Maret 2017 menunjukkan pesatnya peningkatan perubahan SWI sesuai dengan kondisi curah hujan yang cenderung lebih tinggi dan terus menerus, sesuai dengan musim penghujan, dibanding bulan

lainnya namun tetap tidak melebihi nilai referensi standar yang ditetapkan oleh JMA. Penelitian ini menggunakan kriteria yang ditetapkan oleh JMA karena kurangnya data kejadian kejadian sedimen dalam rentang dataset dan tentunya kriteria peringatan harus ditetapkan berdasarkan data curah hujan yang tercatat sebagai pemicu bencana dan terjadinya bencana itu sendiri di daerah tangkapan air Boyong. Tabel 4 menunjukkan kejadian dengan long duration-high intensity (LH) yang terjadi pada bulan September 2016 - April 2017. Ini menunjukkan bahwa jenis long duration-high intensity (LH) terkait dengan kenaikan bertahap dan ketepatan SWI berikutnya. Karena intensitas curah hujan mencapai nilai tertinggi, indeks air tanah juga akan meningkat.

Nilai SWI yang lebih tinggi menunjukkan risiko inisiasi bencana sedimen yang lebih tinggi. Peningkatan SWI yang cepat mencerminkan curah hujan yang sporadis dan peningkatan SWI yang cepat dikombinasikan bersamaan dengan nilai SWI yang tinggi menyebabkan bencana sedimen. Oleh karena itu, dalam kejadian curah hujan dan fenomena curah hujan yang sangat lama, pengamatan perubahan SWI secara terus-menerus dan akurat diperlukan. Karena jenis long duration-high intensity (LH) sangat mempengaruhi perubahan SWI, maka jenis ini perlu diperhatikan untuk prediksi bencana sedimen. Kondisi ini bisa dijadikan pertimbangan awal untuk pemantauan bencana sedimen.

### 3. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dalam penelitian adalah Radar X-band MP (*Multi Parameter*) memiliki manfaat untuk memperkirakan jumlah curah hujan dan distribusi ukuran partikel presipitasi. Hal ini efektif untuk menetapkan metodologi estimasi presipitasi dan menghasilkan informasi curah hujan secara *real-time* untuk prediksi awal bencana sedimen. Dengan menggunakan ALOS3WD yang memiliki cakupan temporal dari tahun 2006-2011 dapat menghasilkan pembacaan data topografi yang lebih mencerminkan kondisi saat ini daerah tangkapan air Boyong (BO-D5) di Gunung Merapi. Kondisi kandungan air tanah di daerah tangkapan Boyong seperti yang ditunjukkan dalam SWI digunakan untuk mengidentifikasi perubahan kandungan air dalam tanah sebagai respon dari kondisi curah hujan dan topografi di Boyong (BO-D5). Perubahan SWI meningkat pesat dari bulan Oktober 2016 sampai Maret 2017. Hal ini sesuai dengan kondisi curah hujan yang cenderung lebih tinggi dan terus menerus, karena musim penghujan, dibanding bulan lainnya namun masih belum melebihi nilai referensi standar SWI (120 - 160 mm) yang ditetapkan oleh JMA. Kejadian dengan *long duration-high intensity* (LH) berlangsung lama pada bulan September 2016 sampai April 2017. Ini menunjukkan bahwa jenis *long duration-high intensity* (LH) berkaitan dengan kenaikan bertahap SWI berikutnya dan perlu diperhatikan untuk prediksi bencana sedimen karena intensitas curah hujan mencapai nilai tertinggi, indeks air tanah juga akan meningkat.

Nilai SWI yang lebih tinggi menunjukkan risiko inisiasi bencana sedimen yang lebih tinggi.

#### Daftar Pustaka

- Chen, C.-W., Saito, H. & Oguchi, T., 2017. Analyzing rainfall-induced mass movements in Taiwan using the soil water index. *Landslides*, pp. 14:1031-1041.
- Mawandha, H., 2015. *Development of Sediment Flash Flood Disaster Early Warning System based on X-band Radar*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Okada, K., 2005. Soil water index (in Japanese). *Sokkoushoh No. 69*, pp. 5(5):67-100.
- Osanai, N. et al., 2010. Japanese early-warning for debris flows and slope failure using rainfall indices with Radial Basis Function Network. *Landslides*, pp. 325-338.
- Ritter, M., 2003. *The Physical Environment : An Introduction to Physical Geography*. s.l.:s.n.
- SATREPS, 2017. *SSDM Manual-20170410*, Yogyakarta: s.n.
- Shuin, Y., Shibano, H. & Haryanto, 1995. *Temporal and Spatial Characteristics of Rainfall on the Southwest Slope of Mt. Merapi Indonesia*. Japan, WECVHA.