

PENGARUH PERUBAHAN IKLIM PADA KERENTANAN LONGSORAN DI KABUPATEN BANDUNG JAWA BARAT

Khori Sugianti¹, Adrin Tohari¹, Heru Santoso¹,
Dwi Sarah¹, Sukristiyanti¹, Rahmawati Rahayu¹

¹Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI
Jl. Sangkuriang, Bandung 40135
Email : khori_sugianti@yahoo.com

Sari

Perubahan iklim yang terjadi menyebabkan perubahan pada berbagai variabel iklim, termasuk presipitasi. Presipitasi yang berubah dari waktu ke waktu mempengaruhi kerentanan tanah terhadap bahaya longsor. Pada penelitian ini dilakukan proyeksi kerentanan longsor untuk tahun 2020, 2050, dan 2080 untuk wilayah Kabupaten Bandung yang memiliki kerentanan longsor yang tinggi. Pemodelan kerentanan longsor dilakukan dengan menggunakan *software* TRIGRS versi 1.0. Nilai presipitasi masing-masing tahun tersebut merupakan hasil simulasi berdasarkan model presipitasi GCM (*General Circulation Model*) BCCRBCM2 dan skenario emisi gas rumah kaca A2-ASF yang ada dalam *software* MAGICC/SCENGEN versi 5.3. Pemodelan kerentanan longsor ini menggunakan DEM dengan resolusi 100m x 100m dan sifat-sifat tanah yang dibedakan berdasarkan satuan geologi di daerah penelitian. Variasi spasial presipitasi dipertahankan dalam pemodelan ini, dengan interpolasi hujan wilayah menggunakan metode *Isohyet*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan presipitasi tidak mengakibatkan kenaikan tingkat kerentanan longsor di tahun 2020, 2050, dan 2080 berdasarkan skenario terpilih.

Kata kunci: perubahan iklim, presipitasi, dan kerentanan longsor

Abstract

Climate change causes a change on many climate variables, including rainfall. The rainfall which changes time to time could affect landslide susceptibility. In this research, a landslide susceptibility projection for 2020, 2050, and 2080 in Bandung Regency was conducted. We used TRIGRS 1.0 software to model landslide susceptibility. We generated rainfall data for years 2020, 2050, and 2080 by using the MAGICC/SCENGEN version 5.3 with BCCRBCM2 as the selected GCM (General Circulation Model) and A2-ASF as the selected green house emission scenario. This landslide susceptibility model involved DEM in 100m x 100m resolution and soil properties of each geological unit in the research area. The spatial variation of rainfall was kept in this model, by regional rainfall interpolatin using Isohyet method. The result show that the rainfall volume change has no significant effect on landslide susceptibility level in 2020, 2050, and 2080.

Keyword: *climate change, rainfall, and landslide susceptibility*

PENDAHULUAN

Pemanasan global diperkirakan akan menghasilkan kenaikan rata-rata suhu udara di seluruh dunia. Perubahan tersebut mendorong terjadinya perubahan pada berbagai variabel iklim, antara lain berupa pergeseran keseimbangan evaporasi-presipitasi yang menyebabkan perubahan pola

presipitasi dalam jumlah dan intensitas. Semakin tinggi kenaikan temperatur maka semakin besar pula resiko terjadinya kerusakan lingkungan misalnya peningkatan tingkat kerentanan bencana terkait iklim: tanah longsor, banjir, kebakaran hutan, kekeringan, dll.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dalam laporan kajian ketiga (TAR) tahun 2007 (Christensen dkk., 2007) mengindikasikan bahwa rata-rata suhu tahunan di wilayah Asia Tenggara naik 2.49°C pada dekade 2100 dibandingkan 1990, yang berarti evaporasi akan semakin besar sehingga permukaan tanah lebih rentan mengalami kekeringan. Presipitasi tahunan akan mengalami peningkatan sebesar 5.1%.

Perubahan presipitasi juga mempengaruhi kondisi hidrogeologi yang merupakan faktor penentu kerentanan lereng, misalnya perubahan tekanan air-pori sebelum periode hujan lebat (*antecedent pore-water pressures*) dan perubahan intensitas dan durasi hujan. Perubahan kondisi hidrologis suatu daerah rentan gerakan tanah dapat mengakibatkan perubahan tingkat kerentanan, frekuensi, dan magnitude gerakan tanah (Collison dkk., 2000). Selain itu, perubahan pola variasi musiman dan intensitas hujan musiman berpotensi merubah karakter gerakan tanah yang selama ini telah diketahui (Tohari dkk., 2006).

Kejadian tanah longsor dapat menyebabkan korban jiwa dan kerugian material. Kerugian akibat tanah longsor dapat meningkat jika tidak diantisipasi dengan adanya perubahan iklim dan tata guna lahan. Bencana tanah longsor dapat dikurangi apabila dampak perubahan iklim terhadap pola curah hujan di masa mendatang dan lingkungan dikaji sehingga strategi mitigasi dapat dibangun.

Permasalahan yang mengenai perubahan iklim antara lain: 1). Seberapa jauh perubahan iklim akan mempengaruhi tingkat kerentanan longsor di wilayah Kab. Bandung, dan 2). Dapatkah perubahan iklim menggeser distribusi daerah rawan longsor dan jenis tanah longsor di wilayah Kab. Bandung.

TUJUAN PENELITIAN

Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh dari perubahan iklim terhadap tingkat kerentanan longsor, sehingga dapat mengetahui daerah yang berpotensi longsor di masa mendatang dengan menggunakan pemodelan perubahan iklim, dan karakteristik tanah terhadap tingkat kerentanan longsor di wilayah Kab. Bandung, Jawa Barat.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan beberapa metode sebagai berikut:

1. Metode pengambilan data

- Pengamatan kondisi geologi, geomorfologi, tata guna lahan
- Pemetaan lokasi longsor dan identifikasi jenis longsor, kedalaman muka airtanah, dan mata air
- Pengambilan sampel tanah uji triaxial dan porositas untuk perhitungan kestabilan lereng
- Pengujian infiltrasi dengan double ring infiltrometer untuk mendapatkan nilai koefisien permeabilitas tanah (k_s) dalam perhitungan infiltrasi air hujan
- Pengumpulan data presipitasi dari beberapa stasiun daerah penelitian di pusat pengumpulan data BMKG di Bogor untuk pemodelan perubahan iklim.

2. Metoda analisis laboratorium

Pengujian sampel dilakukan untuk mengukur sifat fisik dan keteknikan tanah yang di perlukan sebagai input parameter pemodelan kestabilan lereng berupa nilai bobot isi tanah (γ_s) dengan metode uji ASTM 297-76 untuk perhitungan kadar air *volumetrik*, kohesi efektif (c') dan sudut geser dalam efektif (ϕ) dengan metode uji geser langsung ASTM D3080-98 yaitu uji triaxial untuk perhitungan kestabilan lereng.

3. Metoda pengolahan data

- a. Proyeksi perubahan presipitasi untuk iklim di masa mendatang yaitu untuk tahun 2020, 2050, dan 2080 di wilayah Kab. Bandung ditentukan dengan menggunakan pemodelan perangkat lunak MAGICC/SCENGEN versi 5.3 (NCAR, 2005) dengan model GCM BCCRBCM2 dan skenario emisi gas rumah kaca A2-ASF. BCCRBCM2 dipilih berdasarkan hasil uji validitas dari nilai standar deviasi terkecil dan korelasi antara data hasil simulasi model iklim dengan beberapa GCM dan data observasi (Tabel 1). Sebagai baseline digunakan data presipitasi bulan basah Tahun 1990 yang diinterpolasikan dengan metode *Isohyet* untuk mendapatkan variasi spasial regional.

Tabel 1. Hasil uji validitas GCM di wilayah penelitian.

No	Model	Korelasi	Standar Deviasi
1	GFDLCM21	0.968907777	1.717090563
2	BCCRBCM2	0.959875245	0.44197285
3	CNRM-CN3	0.955559647	0.856294342
4	ECHO--G	0.951570915	1.005524739
5	GFDLCM2	0.946587524	1.254862542
6	INMCM-30	0.931214277	1.877178734
7	CCSM--30	0.918996676	0.841451128
8	GISS--ER	0.891879547	1.120223192
9	MRI-232A	0.866916397	2.208483643
10	CCCMA-31	0.863534715	1.968791507
11	FGOALS1G	0.838272902	1.179635537
12	UKHADGEM	0.836073935	4.163981268
13	UKHADCM3	0.799884211	2.712095131
14	IPSL_CM4	0.738226758	1.430643212
15	MIROC MED	0.654473638	1.316328227
16	CSIRO-30	0.637552639	0.977660473
17	MIROC-HI	0.604421972	1.092364408
18	MPIECH-5	0.467340563	2.328359938
19	GISS--EH	-0.35916268	2.217904416
20	NCARPCM1	-0.914933861	2.527421611

- b. Pemodelan zona kerentanan longsor dengan menggunakan perangkat lunak TRIGRS. Parameter yang digunakan dalam pemodelan kestabilan lereng :

- Pembuatan peta model ketinggian digital (DEM) Kab. Bandung dengan resolusi 100 x 100 m dari peta topografi skala 1:25.000 menggunakan perangkat lunak program ILWIS 3.0 Academic (ITC, 2001).
- Pembuatan peta tematik dalam bentuk raster dengan program ILWIS 3.0 Academic (ITC, 2001) berupa peta derajat kemiringan lereng, peta arah aliran, peta karakteristik tanah (bobot isi (γ_s), kohesi efektif (c') dan sudut geser dalam efektif (ϕ') dan permeabilitas tanah (ks), peta hidrologis (heterogenitas presipitasi dengan metode Isohyet) secara spasial yang diturunkan dari raster DEM. Peta tematik raster tersebut diekspor ke dalam format ASCII yang digunakan untuk input dalam pemodelan kestabilan lereng.
- Analisis topografi data set berupa data ketinggian digital lereng dan arah kemiringan lereng dengan menggunakan program TopoIndek (Baum dkk, 2002) untuk menghasilkan data untuk perhitungan *runoff-routing* yang digunakan untuk input dalam pemodelan kestabilan lereng.
- Pemodelan tingkat kerentanan longsoran dengan menggunakan program TRIGRS 1.0 (Baum dkk, 2002) untuk menghasilkan peta tematik perubahan tingkat kerentanan kestabilan lereng terhadap terjadinya longsoran dan perubahan tekanan air-pori akibat infiltrasi air hujan. Pemodelan menggunakan beberapa parameter yang telah diperoleh dari proses pengolahan di atas yaitu peta kemiringan lereng, peta arah kemiringan lereng, peta karakteristik tanah, data intensitas presipitasi per harian. Semua input data dalam format ASCII.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam pemodelan TRIGRS 1.0:

1. Kestabilan lereng menerus
2. Ketebalan lapisan tanah 5 meter
3. Kedalaman muka airtanah 5 meter.

Faktor keamanan lereng (FS) dihitung dengan menggunakan persamaan kestabilan lereng menerus yang homogen, sebagai berikut:

$$FS = \frac{\tan \phi'}{\tan \theta} + \frac{c' - \psi(Z, t) \gamma_w \tan \phi'}{\gamma_s Z \sin \theta \cos \theta}$$

dimana, c' adalah kohesi efektif, Z adalah ketebalan tanah, ψ adalah tekanan airtanah transient, t adalah waktu, θ adalah sudut bidang gelincir, ϕ' adalah sudut geser efektif, γ_w adalah berat isi air dan γ_s adalah berat isi tanah.

Solusi untuk tekanan airtanah transient diberikan oleh persamaan berikut:

$$\psi(Z,t) = [Z-d]\beta + 2 \sum_{n=1}^N \frac{I_{nz}}{K_z} H(t-t_n) [D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}} \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \operatorname{ierfc} \left[\frac{(2m-1)d_{LZ} - (d_{LZ} - Z)}{2[D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}}} \right] + \operatorname{ierfc} \left[\frac{(2m-1)d_{LZ} + (d_{LZ} - Z)}{2[D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} \\ - 2 \sum_{n=1}^N \frac{I_{nz}}{K_z} H(t-t_n) [D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}} \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \operatorname{ierfc} \left[\frac{(2m-1)d_{LZ} - (d_{LZ} - Z)}{2[D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}}} \right] + \operatorname{ierfc} \left[\frac{(2m-1)d_{LZ} + (d_{LZ} - Z)}{2[D_1(t-t_n)]^{\frac{1}{2}}} \right] \right\}$$

dimana, z adalah arah koordinat normal terhadap lereng, α adalah kemiringan lereng, d adalah kedalaman muka airtanah kondisi *steady* yang diukur dalam arah z , $\beta = \lambda \cos \alpha$, dimana $\lambda = \cos \alpha - [l_z / K_z]$, K_z adalah koefisien permeabilitas dalam arah z , I_z adalah flux permukaan pada kondisi steady, dan I_{nz} adalah flux permukaan pada intensitas tertentu untuk interval waktu ke- n . Subscript LT menyatakan term panjang, $D_1 = D_0 \cos^2 \alpha$ dimana D_0 adalah diffusivitas hidrolik kondisi jenuh air, N adalah jumlah total interval, dan $H(t-t_n)$ adalah *Heavyside step function*.

- Peta tingkat kerentanan diklasifikasikan menurut metode Ward (1978), sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Kerentanan Gerakan Tanah (Ward, 1976).

Faktor Keamanan (FS)	Kerentanan Gerakan Tanah
$FS > 2.0$	Kerentanan Sangat Rendah
$2.0 > FS > 1.7$	Kerentanan Rendah
$1.7 > FS > 1.2$	Kerentanan Menengah
$FS < 1.2$	Kerentanan Tinggi

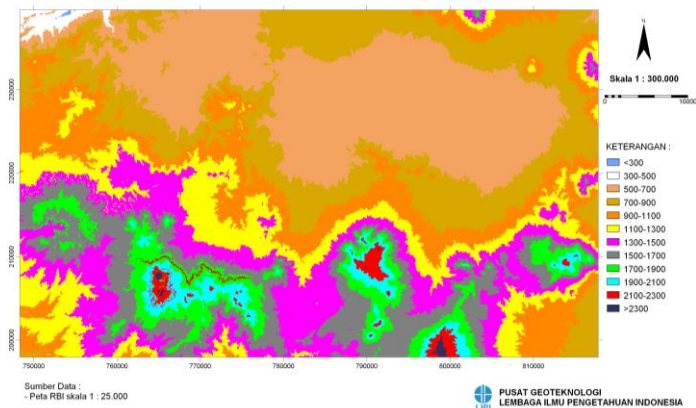
HASIL PENELITIAN

Berdasarkan pengolahan data topografi, data karakteristik tanah, dan data intensitas presipitasi di beberapa stasiun dari penelitian yang dilakukan telah menghasilkan :

1. Peta tematik dalam bentuk raster berupa peta DEM, peta derajat kemiringan lereng, peta arah kemiringan kerentanan untuk pemodelan lereng, pada Gambar 1.

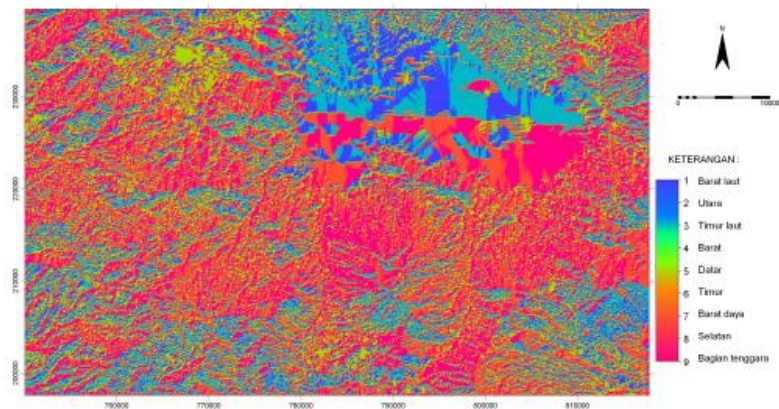
a) PETA DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM) DAERAH KABUPATEN BANDUNG

Oleh : Adrin Tohari, Heru Santosa, Dwi Sarah,
Khori Sugianti, Sukristiyanti, Rahmawati Rahayu



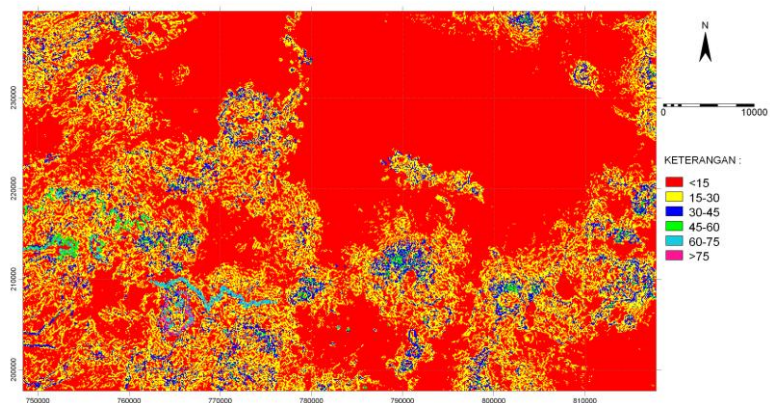
b) PETA ARAH KEMIRINGAN LERENG DAERAH KABUPATEN BANDUNG

Oleh : Adrin Tohari, Heru Santosa, Dwi Sarah,
Khori Sugianti, Sukristiyanti, Rahmawati Rahayu



c) PETA DERAJAT KEMIRINGAN LERENG DAERAH KABUPATEN BANDUNG

Oleh : Adrin Tohari, Heru Santosa, Dwi Sarah,
Khori Sugianti, Sukristiyanti, Rahmawati Rahayu

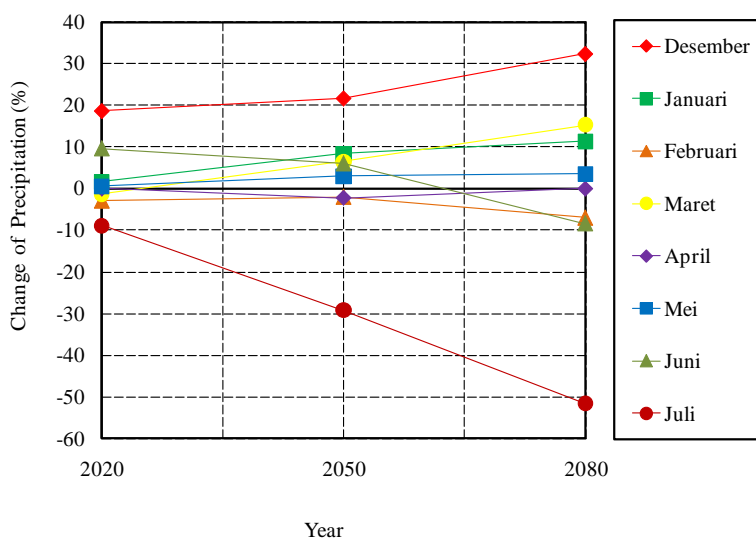


Gambar 1. Peta raster DEM (a), arah aliran (b), dan kemiringan lereng (c) daerah Kab. Bandung Jawa Barat.

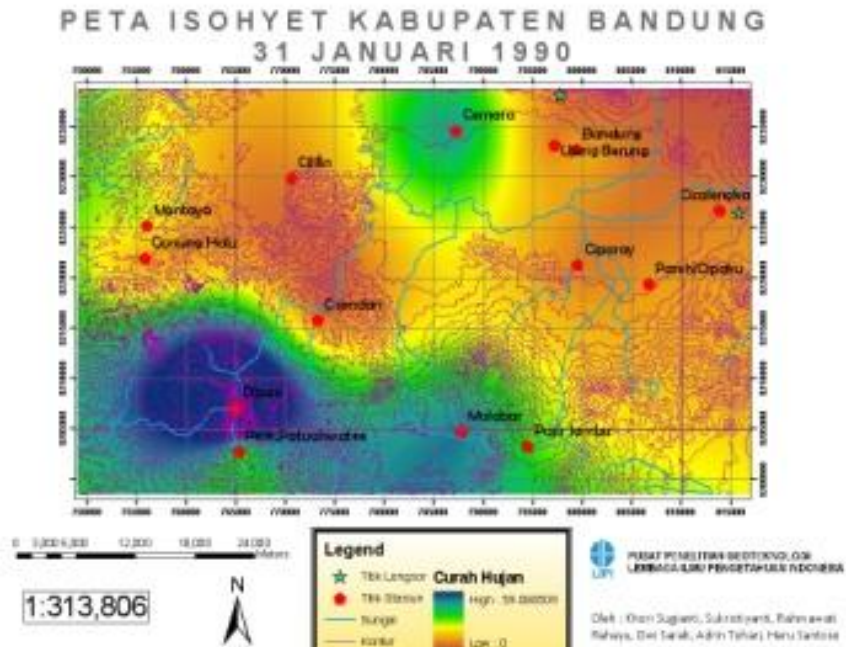
2. Pemodelan proyeksi perubahan presipitasi menggunakan MAGICC/SCENGEN untuk wilayah Kab. Bandung tahun 2020, 2050, dan 2080 ditunjukkan pada Tabel 3 dan grafik perubahan iklim (Gambar 2). Peta tematik raster data presipitasi bulan Januari hingga Juli tahun 1990 yang digunakan sebagai baseline untuk wilayah Kab. Bandung, Jawa Barat dalam pemodelan kerentanan, ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 untuk bulan Januari dan Februari 1990.

Tabel 3. Hasil pemodelan perubahan presipitasi Kab. Bandung (%).

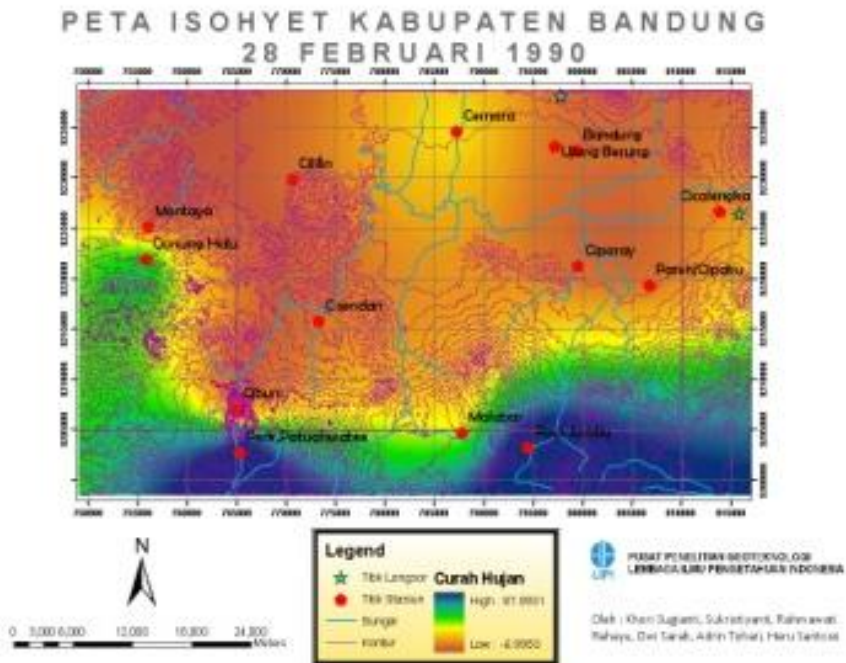
Bulan	Tahun		
	2020	2050	2080
Desember	18.66231	21.70176	32.44709
Januari	1.638791	8.475341	11.36768
Februari	-2.94525	-2.01856	-7.03173
Maret	-1.33413	6.496884	15.32602
April	-0.01908	-2.28123	-0.01908
Mei	0.538759	2.86489	3.477607
Juni	9.663697	6.026008	-8.45964
Juli	-8.90687	-29.2838	-51.6889



Gambar 2. Grafik perubahan presipitasi harian akibat perubahan iklim global untuk tahun 2020, 2050 dan 2080 untuk wilayah Kab. Bandung.

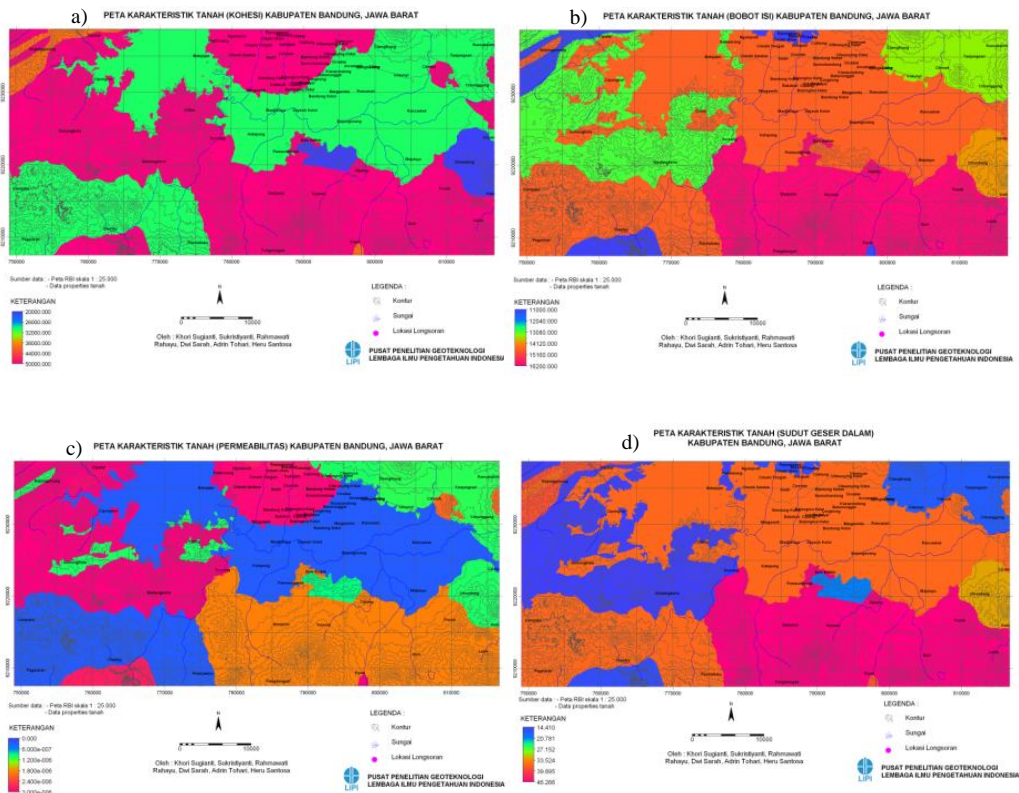


Gambar 3. Peta raster data presipitasi Kab. Bandung, Jawa Barat Januari tahun 1990



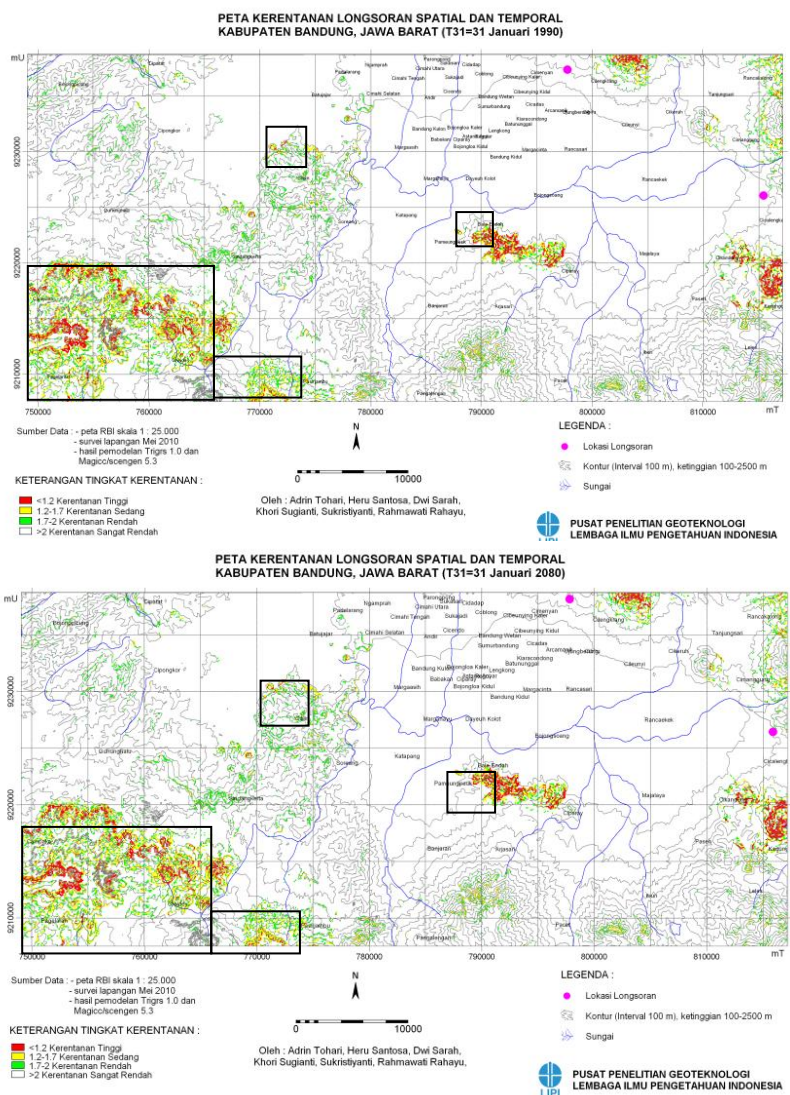
Gambar 4. Peta raster data presipitasi Kab. Bandung, Jawa Barat Februari tahun 1990

3. Peta raster karakteristik tanah berupa (a) bobot isi (γ_s), (b) kohesi efektif (c'), (c) sudut geser dalam efektif (ϕ) dan (d) permeabilitas tanah (ks) berdasarkan hasil uji laboratorium untuk pemodelan kerentanan disajikan pada Gambar 5.

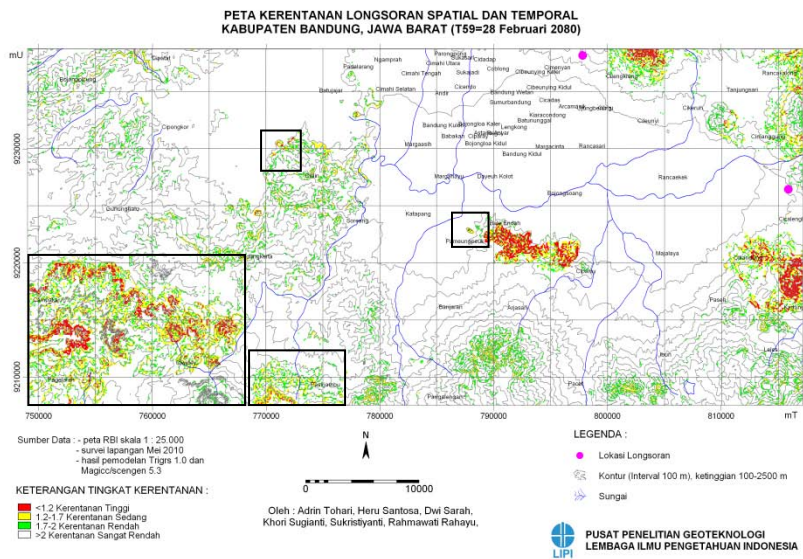
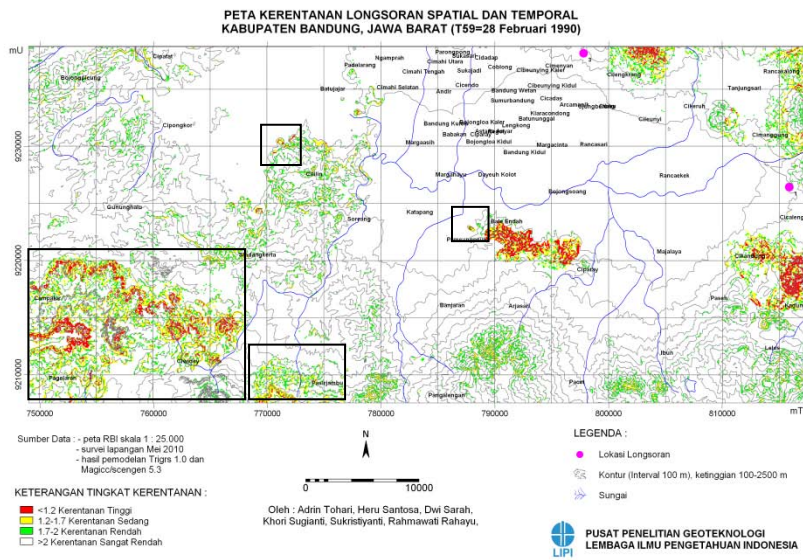


ANALISIS/DISKUSI

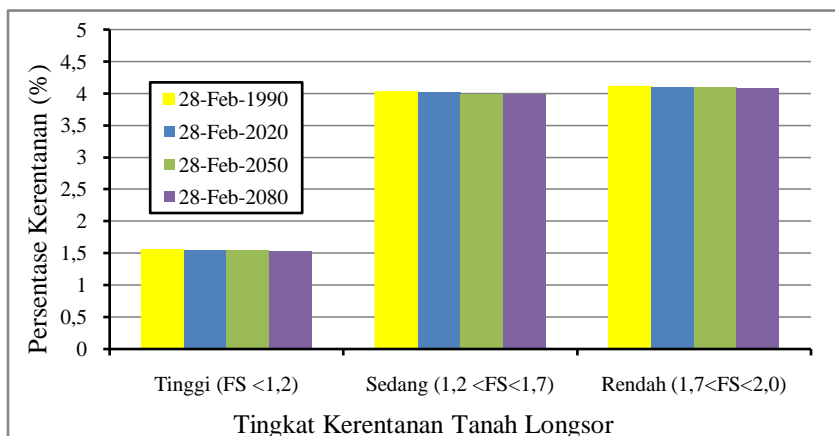
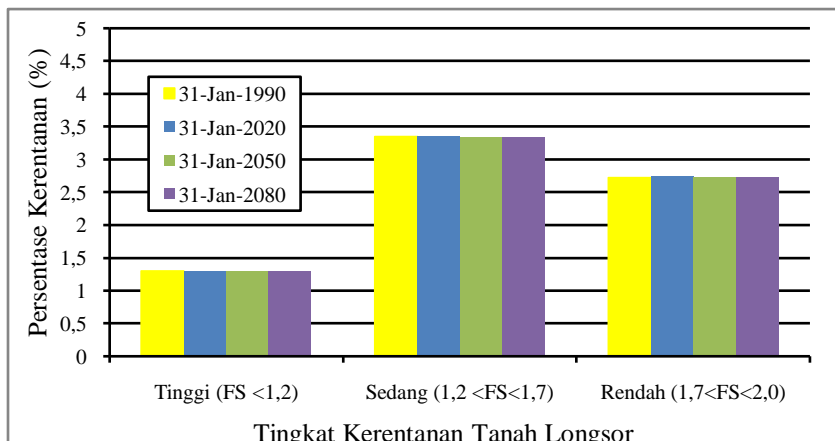
1. Pemodelan perubahan presipitasi memperlihatkan bahwa pada bulan-bulan basah presipitasi secara kumulatif akan semakin meningkat (bulan Desember hingga Mei) di wilayah Kab. Bandung. Perubahan volume presipitasi untuk bulan-bulan basah pada tahun 2080 berkisar dari peningkatan sebesar 32.45% pada bulan Desember dan penurunan sebesar 7.03 % di bulan Februari.
2. Perubahan kerentanan longsor akibat perubahan presipitasi untuk tahun 2020, 2050, dan 2080 untuk Kab. Bandung dapat dikatakan tidak signifikan. Gambar 6 dan Gambar 7 memperlihatkan wilayah yang mengalami perubahan tingkat kerentanan berdasarkan proyeksi perubahan iklim pada tahun 2080, yang mana wilayah dengan kerentanan tinggi semakin sedikit berubah menjadi tingkat kerentanan lebih rendah. Perubahan tingkat kerentanan tersebut pada umumnya terjadi di wilayah yang memiliki litologi pasir lanauan, kuat geser yang kecil dan permeabilitas yang rendah, antara lain: Ciwidey, Campaka, Pagelaran, Pameungpeuk, dan Cililin. Gambar 8 kembali menegaskan bahwa luas wilayah yang mengalami perubahan tingkat kerentanan sangat sedikit atau tidak begitu signifikan.



Gambar 6. Perubahan daerah rentan gerakan tanah akibat perubahan presipitasi regional untuk wilayah Kab. Bandung selama bulan Januari terhadap presipitasi tahun 1990.



Gambar 7. Perubahan daerah rentan gerakan tanah akibat perubahan presipitasi regional untuk wilayah Kab. Bandung selama bulan Februari terhadap presipitasi tahun 1990.



Gambar 8. Histogram kerentanan longsor (dalam %) Kab. Bandung, Jawa Barat bulan Januari dan Februari tahun 1990, 2020, 2050 dan 2080

KESIMPULAN

Daerah yang berpotensi longsor berdasarkan peta tingkat kerentanan longsor yaitu Pagelaran, Ciwidey, Pasir Jambu, Cilengkrang, Pameungpeuk dan Cikandang. Umumnya daerah ini mempunyai lereng yang terjal > 45 %. Perubahan iklim global mengakibatkan presipitasi pada bulan-bulan basah secara kumulatif mengalami kenaikan, namun terjadi penurunan pada Februari dengan penurunan maksimum sebesar -7,03% pada tahun 2080. Perubahan presipitasi tersebut berdasarkan skenario perubahan iklim terpilih tidak mempengaruhi tingkat kerentanan wilayah Kab. Bandung terhadap tanah longsor secara signifikan di masa mendatang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini di tunjang oleh sumber dana penelitian kompetitif dan instansi terkait yang membantu penelitian ini Bappeda Kab. Kota Bandung, Jawa Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- Baum, R.L., Savage, W.Z., dan Godt, J.W., 2002. *TRIGRS-A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis*. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-0424, 27 p.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuoioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Raisanen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007. *Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Collison, A.; Wade, S; Griffiths, J., dan Dehn, M., 2000. *Modelling The Impact of Predicted Climate Change on Landslide Frequency and Magnitude in SE England*, Engineering Geology, Volume 55, Issue 3, February 2000, Pages 205-218.
- ITC, 2001. *ILWIS version 3.0 ACADEMIC*. Enschede, Netherlands.
- NCAR, 2005. *MAGICC-SCENGEN version 5.3*, Colorado, USA.
- Tohari A., dkk., 2006. *Penelitian Kondisi Kestabilan Lereng Kupasan di Jalan Raya Cadas Pangeran, Desa Cigendel, Kecamatan Rancakalong, Kabupaten Sumedang*. Laporan Teknis, Kegiatan Penelitian Pengkajian Teknologi Mitigasi Bencana, No.: 797D/IPK.1/OT/2006, Sub kegiatan 4977.0345, Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI.
- Tohari A., H. Lestiana, D. Sarah dan Santoso, H., 2008. *Impact of Climate Change on Landslide Susceptibility in Bogor District, West Java*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-12, Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI), Bandung, 18-19 Nopember 2008, hal: VII-7 s/d V-11, ISBN: 978-979-96668-6-4.
- Ward, T. J., 1978. *Factor Safety Approach to Landslide Potential Delineation*. Ph. D Dissertation, Department of Civil Engineering, Colarado state University, Fort Collins, Colorado.