

8

ANALISIS PERUBAHAN DEBIT ALIRAN PERMUKAAN DAERAH TANGKAPAN AIR SINGKARAK, SUMATERA BARAT, 2000–2011 DENGAN MENGGUNAKAN DATA INDERAJA OPTIK

Ita Carolita, Heru Noviar, Gagat Nugroho
Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh - LAPAN

ABSTRACT

There are 15 lakes in Indonesia as the priority and require follow-up of the government's for recovery. One lake is currently very poor condition and became one of the government's priority is Lake Singkarak in West Sumatra. Problems that occur in Lake Singkarak West Sumatra today is the poor ability of the land to keep water so that the run off there became higher. This study has aims to monitor the changes in land use and the impact on the water catchment area using satellite data. The method used are classification to map the land cover and Rational Method to estimate the run off. The data used are Landsat TM data year 2000 and 2011 as well as SPOT data and other supporting data. The results of study showed that in general in Singkarak catchment area the coefficient of runoff is relatively increased in 2011 compared to 2000. This is due to the increase of residential area and open lands, as well as the decrease of primary forest.

Keywords: *run off, Rational Method, run off coefficient*

ABSTRAK

Ada 15 danau di Indonesia yang menjadi prioritas dan membutuhkan tindak lanjut dari pemerintah untuk pemulihannya. Salah satu danau yang saat ini kondisinya sangat memprihatinkan dan menjadi salah satu prioritas pemerintah adalah Danau Singkarak di Sumatera Barat. Masalah yang terjadi di Danau Singkarak, Sumatera Barat saat ini adalah rendahnya kemampuan lahan menyimpan air sehingga aliran air permukaan menjadi lebih tinggi. Kajian ini bertujuan memantau perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap debit DTA (Daerah Tangkapan Air) dengan menggunakan data penginderaan jauh. Metode

yang digunakan adalah klasifikasi penutup lahan untuk memetakan penutup lahan dan Metode Rasional untuk menghitung besarnya aliran permukaan. Data yang digunakan adalah tahun 2000 Landsat TM dan 2011 data SPOT serta data pendukung lainnya. Dari hasil kajian diperoleh bahwa di DTA Singkarak pada umumnya koefisien aliran permukaan relatif meningkat pada tahun 2011 dibandingkan dengan tahun 2000. Ini disebabkan adanya peningkatan penutup lahan permukiman dan lahan terbuka, serta adanya penurunan luasan hutan primer.

Kata kunci: Aliran Permukaan, Metoda Rasional, Koefisien Aliran Permukaan

1. PENDAHULUAN

Degradasi DTA telah banyak menimbulkan masalah terhadap kualitas danau-danau di wilayah Indonesia. Seperti pendangkalan dan penyusutan luas danau, penurunan kualitas air danau dan turunnya produktivitas perikanan yang berakibat terhadap turunnya pendapatan masyarakat di sekitar danau. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha-usaha pencegahan agar proses degradasi DTA tidak berlanjut terus dan upaya pemulihan kualitas danau sehingga danau-danau tersebut dapat tetap lestari dan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar. Ada 15 danau yang menjadi prioritas dan membutuhkan tindak lanjut dari pemerintah untuk pemulihannya (Suwanto 2011). Beberapa danau mempunyai masalah dalam tingkat kebersihan dan tingginya perkembangbiakan eceng gondok yang menutupi perairan sehingga diperlukan langkah-langkah untuk memperbaiki kualitas airnya. Beberapa lainnya mempunyai masalah dengan tingkat sedimentasi yang tinggi dari bagian hulu sungai sehingga mengakibatkan terjadinya pendangkalan danau. Ada pula danau yang memerlukan komitmen pemerintah dalam pengawasan dan penjagaan kelestariannya (Suwanto 2011).

Salah satu danau yang saat ini kondisinya sangat memprihatinkan dan menjadi salah satu prioritas pemerintah adalah Danau Singkarak di Sumatera Barat. Masalah yang terjadi di Danau Singkarak, Sumatera Barat saat ini adalah rendahnya kemampuan lahan menyimpan air sehingga aliran air permukaan menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan banyak terjadi eksploitasi hutan yang dilakukan oleh penduduk (Suwanto 2011). Menurut Bapeda (2000), jumlah peladang berpindah di daerah tampungan air Danau Singkarak berjumlah sekitar 4.559 kepala keluarga dengan total luas ladang berpindah sekitar 10.624 Ha. Pengaruh langsung dari berkurangnya tutupan hutan yang dirasakan oleh berbagai pihak adalah melimpahnya persediaan air dan meningkatnya risiko banjir di musim hujan serta menyusutnya persediaan air pada musim kemarau yang dapat meningkatkan risiko kekeringan (Boer 2004).

Pemanfaatan data satelit penginderaan jauh untuk kegiatan pemantauan yang berkaitan dengan pengelolaan DAS dan danau telah banyak dilakukan, seperti pemantauan perubahan penutup lahan di DAS, perubahan luasan danau dan kualitas air, estimasi debit air dan erosi (Bresciani 2010; Wahyuningrum 2007). Dewasa ini perkembangan teknologi satelit penginderaan jauh berjalan sangat cepat sehingga dapat menyediakan berbagai data penginderaan jauh optik dan SAR (*Sinthetic Aperture Radar*) dengan karakteristik resolusi spasial, temporal, dan spektral yang berbeda-beda sehingga data satelit penginderaan jauh merupakan salah satu sumber data yang paling penting dan efisien untuk pembuatan informasi spasial yang akurat, konsisten, dan aktual mengenai sumberdaya alam dan lingkungan, khususnya untuk memantau perubahan yang terjadi pada suatu wilayah DAS dan DTA dari tahun ke tahun.

Data satelit penginderaan jauh sangat dibutuhkan untuk menghasilkan informasi penutup lahan dan perubahan lahan yang akurat, konsisten, dan aktual untuk memantau kualitas DTA sehingga dapat diambil langkah-langkah yang tepat untuk mempertahankan dan meningkatkan kualitas DTA tersebut. Informasi seperti luas danau perubahan penggunaan lahan di sekitar danau, perubahan debit air, dan erosi. Informasi tersebut dapat menjadi masukan yang penting bagi pemerintah setempat untuk merencanakan pengelolaan DAS dan danau.

Kajian ini bertujuan memantau perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap debit DTA dengan menggunakan data penginderaan jauh, studi kasus adalah DTA Singkarak, Sumatera Barat.

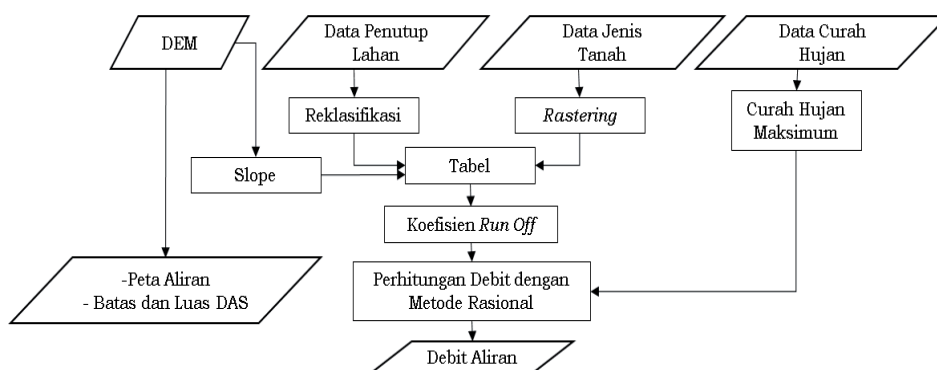
2. METODOLOGI

2.1. Area Kajian

Area untuk kajian ini adalah DTA Singkarak. Danau Singkarak terbentang pada koordinat $0^{\circ}37' 12''$ LS dan $100^{\circ}32' 24''$ BT. Danau Singkarak secara administrasi berada dalam 2 (dua) wilayah kabupaten yakni Kabupaten Solok dan Kabupaten Tanah Datar. Luas Danau Singkarak yang berada dalam wilayah Kabupaten Solok ± 6.550 Ha dan luasan kawasan danau dalam wilayah Kabupaten Tanah Datar seluas 6.420 Ha yang terbagi 1.320 Ha di Kecamatan Batipuh dan dalam Kecamatan Rambatan 5.100 Ha. Tipe iklim DTA Singkarak tergolong pada tipe B (basah), wilayah ini termasuk pada iklim tipe Afa dan Ama. Tipe Afa dicirikan dengan iklim hujan tropis dengan suhu normal diatas 22°C , sedangkan tipe Ama dicirikan dengan iklim basah yang cukup, meskipun waktu kering terdapat kelebihan air dalam tanah dari bulan-bulan yang banyak hujan.

2.2. Metode

Data primer yang digunakan untuk kegiatan ini adalah data Landsat-TM tahun 2000 dan SPOT 2011, DEM SRTM resolusi 90 m dan data curah hujan dari satelit TRMM. Sementara data sekunder dan pendukung adalah citra ortho Landsat, Batas administrasi, data pengukuran lapangan (debit air, kualitas air), data iklim, peta jenis tanah, dan peta topografi. Metode yang digunakan untuk kajian ini seperti pada Gambar 1.

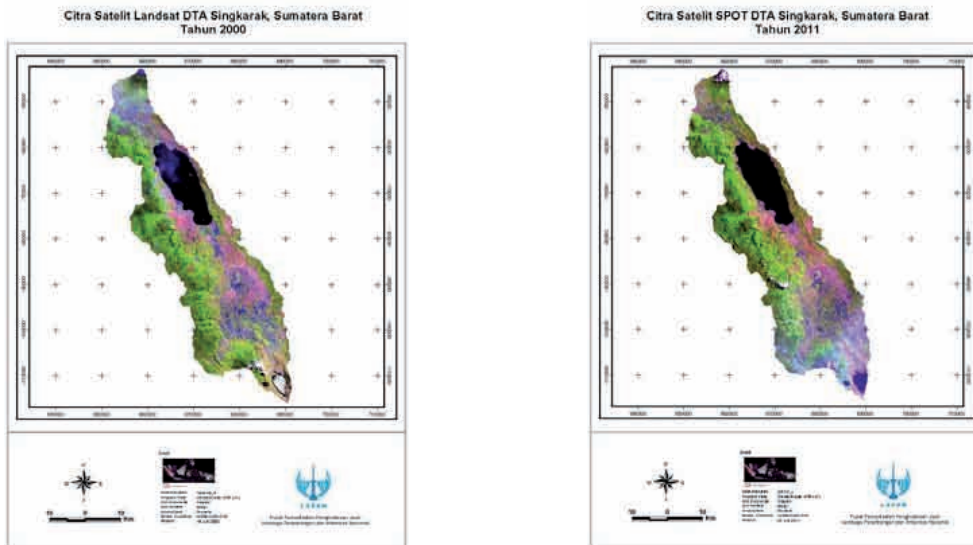


Gambar 1 Metode penelitian

■ ■ PEMANFAATAN DATA PENGINDERAAN JAUH UNTUK PERTANIAN DAN KEHUTANAN

Sebelum dilakukan proses untuk mengekstraksi informasi seperti penutup/penggunaan lahan dan kualitas air, data Landsat dan SPOT terlebih dahulu dikoreksi geometrik dan radiometrik. Data yang digunakan adalah Landsat 15 Juli 2000 dan data SPOT 11 Mei 2011. Data tersebut akan digunakan untuk ekstraksi informasi kualitas air dan informasi penutup/penggunaan lahan. Adanya perbedaan radiometrik antara Landsat dan SPOT menyebabkan kedua data tersebut harus dinormalisasi.

Gambar 2 berikut adalah citra komposit RGB Landsat untuk DTA Singkarak tahun 2000 dan SPOT 2011.



Gambar 2 Citra komposit RGB DTA Singkarak tahun 2000 dan 2011

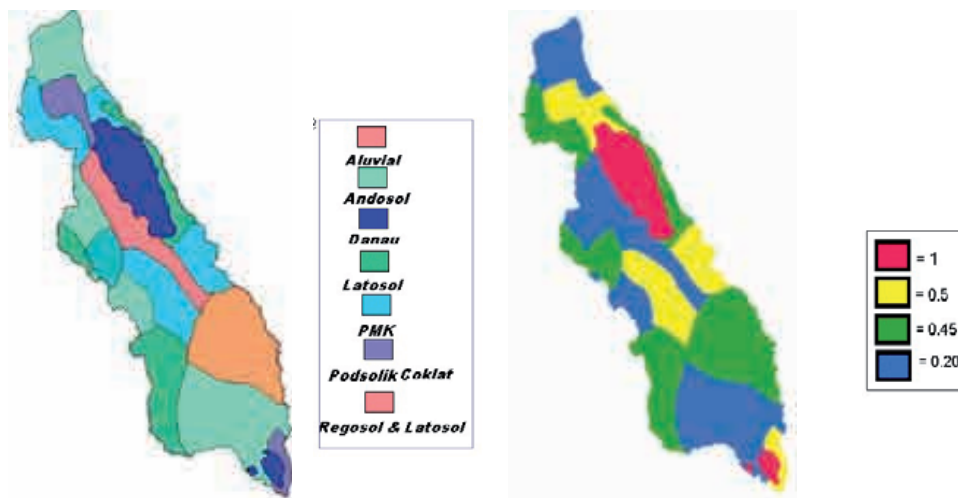
Dari data penutupan lahan ini dilakukan konversi menjadi koefisien aliran permukaan dengan menggunakan Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Nilai koefisien aliran permukaan berdasarkan penutup lahan

No.	Tutupan Lahan	Koefisien Aliran Permukaan
1.	Hutan Primer	0,01
2.	Hutan Sekunder	0,05
3.	Kebun Campuran	0,5
4.	Perkebunan	0,5
5.	Ladang-Tegalan	0,5
6.	Semak belukar	0,3
7.	Sawah	0,2
8.	Jalan Aspal	0,7
9.	Lahan Terbuka	0,95
10.	Permukiman	0,9

Sumber: Dune dan Leopold (1978); Subarkah (1980); Wahyuningsih dan Pramono (2007)

Data jenis tanah diperoleh dari Kementerian Pertanian. Gambar 3 berikut menunjukkan informasi spasial jenis tanah dan hasil konversi menjadi tingkat kecepatan infiltrasi berdasarkan jenis tanah untuk area DTA Singkarak. Selanjutnya dilakukan konversi tingkat infiltrasi menjadi nilai C (koefisien Aliran Permukaan) dengan menggunakan tabel konversi Aliran Permukaan (Sumber: Subarkah (1980)) seperti pada Tabel 2.



Gambar 3 Informasi jenis tanah dan nilai C untuk DTA Singkarak

Tabel 2 Tabel koefisien aliran permukaan untuk jenis tanah

No.	Keadaan daerah pengaliran (<i>Watershed condition</i>)	Koefisien Aliran Permukaan
1.	Tanah berpasir dan berkerikil untuk pertanian	0,20
2.	Tanah berpasir dan berkerikil untuk rumput	0,15
3.	Tanah berpasir dan berkerikil untuk hutan	0,10
4.	Tanah berpasir dan berkerikil untuk rumput	0,40
5.	Tanah berdebu tanpa impeding horizons untuk rumput	0,35
6.	Tanah berdebu tanpa impeding horizons untuk hutan	0,30
7.	Tanah berpasir berat untuk pertanian	0,50
8.	Tanah berlempung berat untuk rumput	0,45
9.	Tanah berlempung berat untuk hutan	0,40

Sumber: Dune dan Leopold (1978); Subarkah (1980); Wahyuningsih dan Pramono (2007)

Debit Aliran Sungai adalah volume air sungai yang mengalir dalam satuan waktu tertentu. Debit air sungai adalah tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai. Pengukurannya dilakukan tiap hari atau dengan pengertian yang lain debit atau aliran sungai adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt).

Dalam penelitian ini digunakan Metoda Rasional (US *Soil Conservation Service* 1973), yakni suatu metode yang digunakan untuk memperkirakan besarnya air aliran puncak (*peak run off*). Metoda ini relatif mudah digunakan karena diperuntukkan pemakaian pada DAS atau DTA berukuran kecil, kurang dari 300 Ha (Goldman *et al.* 1986; Pitt *et al.* 2007). Persamaan matematik metoda rasional:

$$Q_p = 0,0028 C \cdot I_p \cdot A \quad (1)$$

di mana:

Q_p = Air aliran (debit) puncak (m³/detik)

C = Koefisien Air aliran

I_p = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas Wilayah DAS atau DTA (ha)

Intensitas hujan ditentukan dengan memperkirakan waktu konsentrasi (*time of concentration*, T_c) untuk DAS atau DTA bersangkutan dan menghitung intensitas hujan maksimum untuk periode berulang (*return period*) tertentu dan waktu hujan sama dengan T_c . Bila $T_c=1$ jam maka intensitas hujan terbesar yang harus digunakan adalah curah hujan 1-jam.

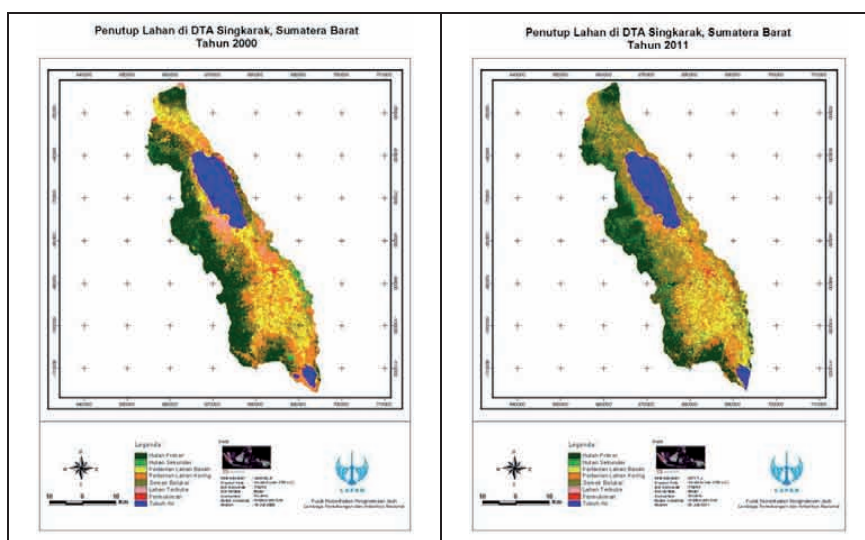
Dalam penelitian ini dilakukan survei dan pengumpulan data sekunder. Secara terinci survei bertujuan mendapatkan data debit air, hasil pengukuran dari PU Padang, melakukan pengukuran dan pengecekan kondisi penutup lahan di sekitar Danau Singkarak, dan memperoleh data pendukung lainnya.

Data I (Intensitas hujan) diperoleh dari data TRMM yang diverifikasi dengan data lapangan, sedangkan data A adalah luas dari DTA. Luas DTA dibuat dengan 3 dimensi karena area DTA Singkarak *slope*-nya beragam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

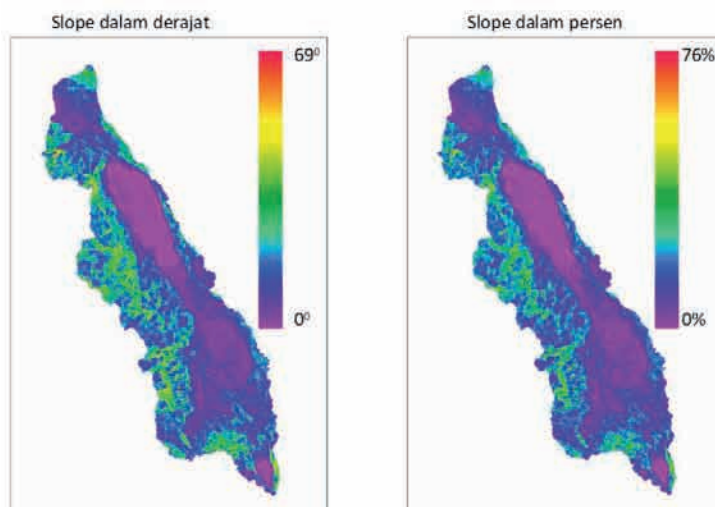
3.1 Klasifikasi Penutup Lahan

Klasifikasi penutup lahan di DTA Singkarak dilakukan dengan menggunakan metode klasifikasi *maximum likelihood*. Hasil klasifikasi kemudian diverifikasi dengan menggunakan data yang diperoleh dari lapangan. Gambar 4 berikut menunjukkan hasil klasifikasi penutup lahan untuk tahun 2000 dan 2012.



Gambar 4 Citra klasifikasi penutup lahan DTA Singkarak tahun 2000 dan 2011

Dari data DEM (sumber SRTM) dilakukan pengkelasan *slope* lahan. Gambar 5 berikut menunjukkan informasi spasial *slope* dalam derajat dan dalam persen untuk area DTA Singkarak.



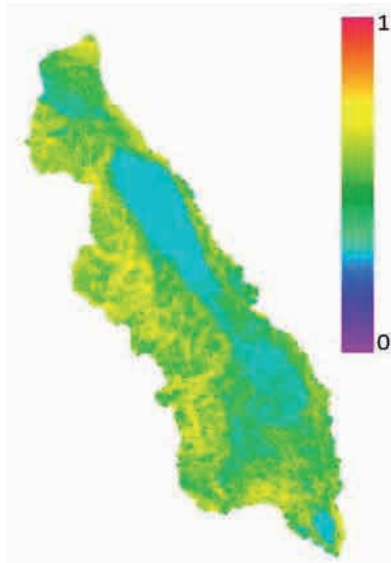
Gambar 5 Informasi *slope* dalam derajat dan persen

Selanjutnya dilakukan konversi nilai *slope* menjadi nilai C (Koefisien Aliran Permukaan) dengan menggunakan tabel konversi Aliran Permukaan (Sumber: Dune & Leopold (1978), Subarkah (1980), dan Irfan (2010)). Gambar 6 menunjukkan informasi spasial koefisien Aliran Permukaan berdasarkan *slope* di DTA Singkarak. Tabel 3 adalah Tabel koefisien Aliran Permukaan berdasarkan *slope*.

Tabel 3 Tabel koefisien aliran permukaan berdasarkan *slope*

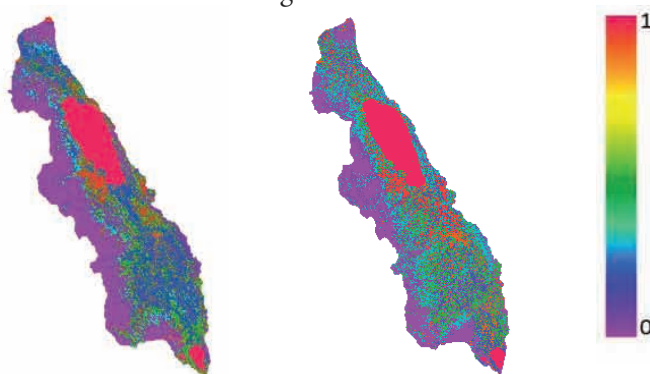
No	Slope	Koefisien Aliran Permukaan
1	0–3	0,3
2	3–8	0,4
3	8–15	0,5
4	15–25	0,6
5	>25	0,7

Sumber: Dune dan Leopold (1978); Subarkah (1980); Wahyuningsih dan Pramono (2007)



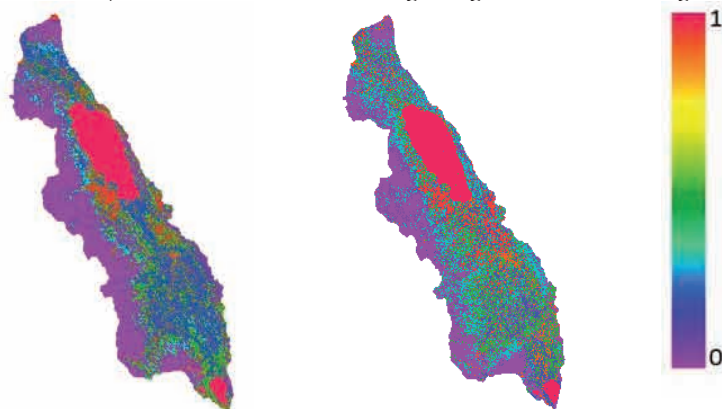
Gambar 6 Informasi spasial *slope* dalam derajat dan dalam persen DTA Singkarak

Data penggunaan lahan diperoleh dari klasifikasi penggunaan lahan dengan menggunakan data Landsat (Gambar 4). Gambar 7 berikut menunjukkan hasil konversi dari penggunaan lahan menjadi nilai C untuk area DTA Singkarak.



Gambar 7 Koefisien aliran permukaan untuk penggunaan lahan, tahun 2000 dan 2011 (nilai 0–1)

Dari nilai C dari *slope*, penggunaan lahan dan jenis tanah selanjutnya dilakukan perhitungan nilai C (koefisien Aliran Permukaan) gabungan dengan merata-ratakan nilai C dari masing-masing nilai C tersebut. Gambar 8 menunjukkan nilai C rata-rata atau gabungan untuk DTA Singkarak.



Gambar 8 Koefisien aliran permukaan gabungan DTA Singkarak tahun 2000 dan 2012

Dari perhitungan debit aliran permukaan, diperoleh perbandingan debit pada tahun 2000 dan 2011 seperti pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4 Debit air pada sub-DTA Sumani, Sumpur, dan Paninggahan 2000

	Nama Sungai	Luas DTA	Length (km)	Tinggi Maks (m)	Tinggi Min (m)	Koef. Aliran Permukaan	Debit (m ³ /dt)
1.	Sumani	597	48,7	2577	358	0,430	739
2.	Sumpur	169,3	16,3	2746	410	0,401	887
3.	Panninggahan	61,2	13,4	394	394	0,354	238

Tabel 5 Debit air pada sub-DTA Sumani, Sumpur, dan Paninggahan 2011

	Nama Sungai	Luas DAS	Length (km)	Tinggi Maks (m)	Tinggi Min (m)	Rata-rata Aliran Permukaan	Debit (m ³ /dt)
1.	Sumani	597	48,7	2577	358	0,430	690
2.	Sumpur	169,3	16,3	2746	410	0,433	957
3.	Panninggahan	61,2	13,4	394	394	0,355	239

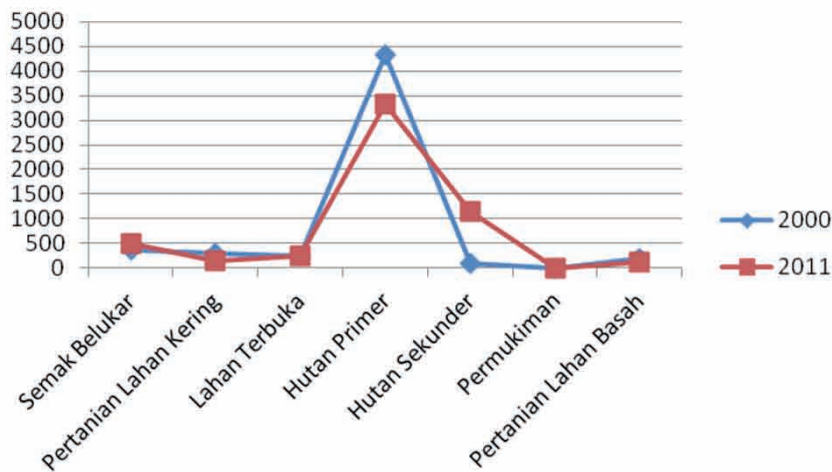
Dari perhitungan debit aliran permukaan pada DTA Sumani, Sumpur, dan Paninggahan terlihat bahwa pada tahun 2011 terjadi peningkatan nilai rata-rata aliran permukaan di DTA Sumpur dari 0,401 menjadi 0,433 dan di DTA Paninggahan dari 0,354 menjadi 0,355. Kenaikan ini menyebabkan adanya kenaikan debit aliran permukaan pada kedua DTA tersebut, yakni dari 887 m³/detik menjadi 957 m³/detik di DTA Sumpur dan dari 238 m³/detik menjadi 239 m³/detik di DTA Paninggahan.

Perubahan nilai rata-rata koefisien aliran permukaan pada setiap DTA ini disebabkan adanya perubahan penutup lahan yang pada umumnya disebabkan adanya eksploitasi hutan. Dari hasil klasifikasi penutup lahan tahun 2000 dan 2011 DTA Singkarak, Sumatera Barat, diperoleh perbandingan luasan objek penutup lahan untuk DTA Paninggahan, DTA Sumpur, dan DTA Sumani seperti pada Tabel 6 berikut.

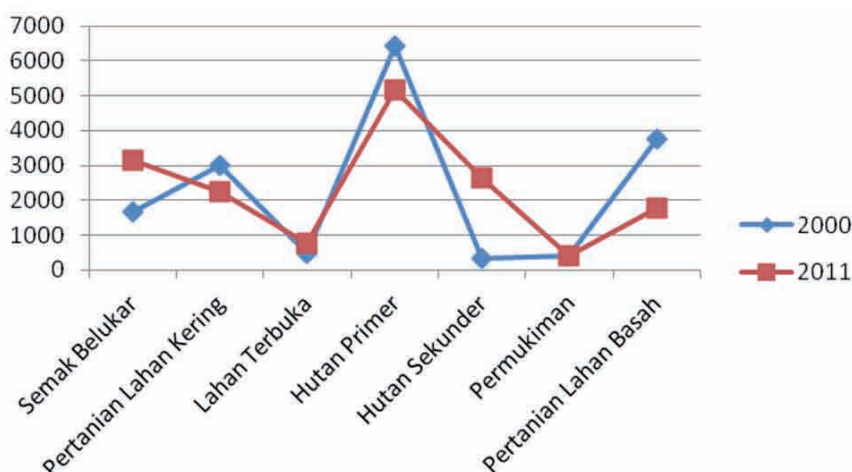
Tabel 6 Perbandingan luasan objek penutup lahan di sub-DTA Paninggahan, Sumpur, Sumani di Singkarak, Sumatera Barat (dalam Ha)

Penutup Lahan	DTA Paninggahan		DTA Sumpur		DTA Sumani	
	2000	2011	2000	2011	2000	2011
Semak Belukar	375,7	496,4	1644,4	3146,4	3052,7	8594,2
Pertanian Lahan Kering	290,6	156,4	3108,8	2253,6	19334,9	14436,4
Lahan Terbuka	248,9	256,9	464,4	785,3	2295,6	3467,6
Hutan Primer	4327,6	3334,3	6432,1	5151,9	14252,4	14076,7
Hutan Sekunder	105,8	1152,7	348,6	2643,2	1439,9	2884,3
Permukiman	3,6	4,1	403,4	394,2	1314,1	2604,9
Pertanian Lahan Basah	168,6	118,8	3761,3	1787,3	14643,3	9802,2
	5521,1	5519,7	16162,9	16161,8	57471,1	56809,8

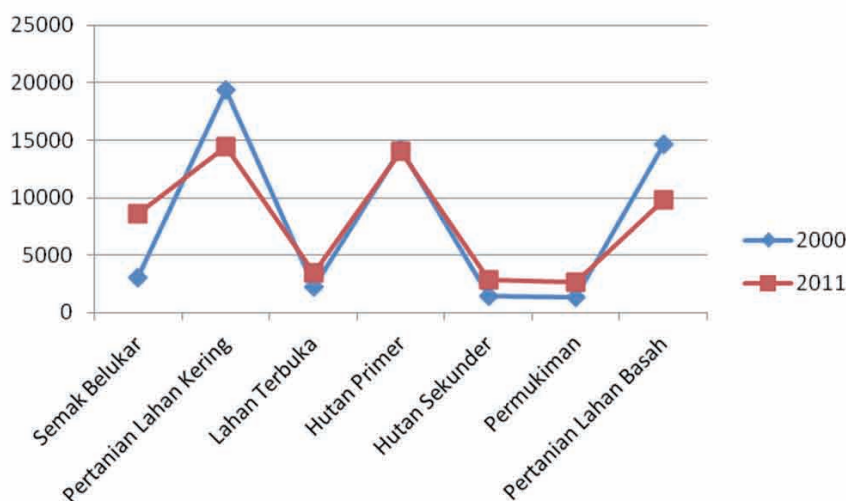
Grafik pada Gambar 9, 10 dan 11 berikut menunjukkan grafik perubahan penggunaan lahan untuk daerah tangkapan air Paninggahan, Sumpur, dan Sumani.



Gambar 9 Grafik perbandingan luasan masing-masing objek penutup lahan di sub-DTA Paninggahan, Sumatera Barat (dalam Ha)



Gambar 10 Grafik perbandingan luasan masing-masing objek penutup lahan di sub-DTA Sumpur, Sumatera Barat (dalam Ha)



Gambar 11 Perbandingan luasan masing-masing objek penutup lahan di sub-DTA Sumani, Sumatera Barat (dalam Ha)

Dari grafik perubahan penggunaan lahan di DTA Paninggahan tampak luasan hutan menurun sekitar 1000 Ha, sedangkan luasan hutan sekunder meningkat sebesar 1000 Ha juga. Penurunan luasan hutan primer diakibatkan adanya eksploitasi hutan yang dilakukan oleh penduduk. Demikian pula dengan di DTA Sumpur terjadi penurunan luasan hutan primer. Luasan area permukiman juga terjadi peningkatan. Sementara di DTA Sumani, luasan hutan primer ini relatif tidak banyak perubahan.

Adanya penurunan luasan hutan primer ini menyebabkan terjadinya penurunan kemampuan lahan dalam menahan air sehingga koefisien aliran permukaan menjadi meningkat. Ini mengakibatkan debit aliran permukaan menjadi lebih tinggi pada sungainya.

4. KESIMPULAN

Pendugaan debit aliran permukaan dapat dilakukan dengan menggunakan data penginderaan jauh, di mana masukan data dari penginderaan jauh adalah penutup/penggunaan lahan, curah hujan, serta *slope* dan ketinggian lahan.

Dari hasil kajian diperoleh bahwa di DTA Singkarak, pada umumnya bahwa nilai rata-rata koefisien aliran permukaan relatif meningkat pada tahun 2011 dibandingkan dengan tahun 2000 yang ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai rata-rata koefisien aliran permukaan di sub-DTA Sumpur dan DTA Paninggahan. Ini mengakibatkan debit air menjadi lebih tinggi pada sungainya. Hal ini terjadi karena adanya penurunan luasan hutan primer, di samping adanya peningkatan penutup lahan permukiman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Wawan K. Harsanugraha yang telah memberikan pengarahan dalam penyusunan makalah ini dan kepada Kapusfatja yang telah memberikan fasilitas kepada penulis untuk menyelesaikan kajian ini. Terima kasih disampaikan pula kepada Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Sumatera Barat yang memberikan bantuan berupa data sekunder terkait informasi tentang curah hujan dan debit air di DTA Singkarak, serta kepada rekan-rekan peneliti yang telah memberikan masukan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bresciani M. 2010. *Water Quality by Remote Sensing Technique*. Project EULAKES (European Lakes Under Environmental Stressors). Second Year Joint European Bulletin on The 4 Lakes Health.
- Boer R., B. Abubakar, D. Alimin. 2004. Tantangan dan Peluang Pelaksanaan Program RUPES di Daerah Tampungan Air Danau Singkarak. Program RUPES di daerah Tampungan Air Danau Singkarak, Dampak Hidrologis Hutan, Agroforestri, Dan Pertanian Lahan Kering sebagai Dasar Pemberian Imbalan Kepada Penghasil Jasa Lingkungan di Indonesia, Prosiding Lokakarya di Padang/Singkarak. Sumatera Barat.
- Chow V., D. Maidment, L. Mays. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill International Edition. Singapore, 572 p.
- Dunne T., L.B. Leopold. 1978. *Water in Environmental Planning*. W.H. Freeman and Company. New York.
- Goldman S.J, J. Katharine, T.A. Burtztynsky. 1986. *Erosion and Sediment Control Handbook*. Mc. Graw Hill. USA
- Nguyen M.H. 2011. *Application USLE and GIS Tool to Predict Soil Erosion Potential and Proposal Land Cover Solutions to Reduce Soil Loss in Tay Nguyen*. FIG Conference. Marrakech. Morocco.
- Pitt, Robert., S.E. Clark, D.W. Lake. 2007. *Construction Site Erosion and Sediment Controls; Planning, Design and Performance*. DEStech Publications, Inc. USA
- Subarkah I. 1980. *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idhea Dharma.

- Suwanto A., T.N. Harahap, H. Manurung, W.C. Rustadi, S.R. Nasution, I.N.N. Suryadiputra, I. Sualia. 2011. *15 Profil Danau Prioritas Nasional*. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup.
- Wahyuningrum N., Pramono. 2007. Aplikasi sistem informasi geografis untuk perhitungan koefisien aliran permukaan di sub-DAS Ngunut I Jawa Tengah. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 1(6).
- Wischmeier W.H., D.D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses*. USDA Agr. Res. Serv. Handbook 537.