

KOMPARASI JASA EKOSISTEM PENYEDIAAN DAN PENGATURAN DAERAH TANGKAPAN AIR WADUK PLTA KOTO PANJANG

Riyadi Mustofa

Program Doktorat Ilmu Lingkungan Universitas Riau
 riyadimustofa@gmail.com

Abstract

Koto Panjang Reservoir Water Floods in the catchment area of the Koto Panjang Reservoir become an annual problem in the wet season resulting in interrupted access between regions, lack clean water, and the emergence of various diseases. Floods carry loads of mud, sand and other waste due to erosion in the upstream area which causes sedimentation in the downstream area. Erosion and sedimentation that occur due to nature's ability to regulate water continue to decrease due to land conversion. The research objective is to compare the carrying capacity of environmental services based on ecosystem services water supply services with water regulation services during the period 2003, 2007, 2011, and 2015. The carrying capacity of environmental services based on ecosystem services has an important role in supporting the lives of humans and creatures other life. Carrying capacity is one of the load indicators to ensure that a policy plan and program meets the requirements of sustainable development. The analytical method used was Participatory Approaches and Expert Opinion arranged into a pairwise comparison matrix and continued with quantitative descriptive analysis, comparative description, and spatial analysis. The results of the analysis in 2015 showed that the carrying capacity of environmental services based on ecosystem services water supply services was 29.49 with criteria already exceeded and water management services amounted to 76.15 with criteria not yet exceeded.

Keyword: carrying capacity capacity, ecosystem services, supply, water, comparison, long koto

PENDAHULUAN

Waduk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Koto Panjang sebagai bagian dari ekosistem perairan Daerah Tangkapan Air (DTA) memiliki fungsi dari aspek ekologi, social ekonomi dan budaya. Fungsi ekologis sebagai siklus materi dan aliran energy yang dimanfaatkan sebagai pembangkit Listrik Tenaga Air, fungsi social ekonomi sebagai tempat budaya perikanan dan pengolahan hasil pertanian, dan fungsi budaya sebagai tempat rekreasi dan destinasi wisata yang turut meningkatkan perekonomian masyarakat. Sumber daya yang beragam pada ekosistem waduk PLTA ini dapat menimbulkan efek sentrifugal berbagai pihak untuk beraktivitas. Kondisi ini menurut Nagendra & Ostrom (2014), didorong juga oleh pandangan bahwa waduk merupakan sumber daya *common pool goods*. DTA PLTA Koto Panjang memiliki luas total 329.345,77 ha terletak di dua wilayah administrasi, yaitu luas Kabupaten Kampar, Provinsi Riau 72.008,96 ha (21,89%), dan wilayah administrasi Provinsi Sumatera Barat 257.336,81 ha (78,11%) dengan rincian dalam Kabupaten Pasaman 14.717,04 ha (16,63%) dan Kabupaten Lima Puluh Kota 202.499,77 ha (61,49%) (Nurdin et al, 2017). Dalam kurun waktu lima tahun terakhir kondisi DTA Koto Panjang terutama waduk sebagai daerah hilirnya menghadapi permasalahan akibat tingkat kontinuitas air yang tidak stabil. Kekeringan pada saat musim kemarau dan banjir pada musin hujan menyebabkan pembangkit listrik tersebut tidak berfungsi secara optimal, menurunnya produksi listrik hingga mencapai gagal operasi pada tahun 2015.



Kondisi sebaliknya terjadi pada musim hujan mencapai puncaknya akan menyebabkan banjir di daerah hulu waduk. Kedua fenomena tersebut terjadi secara kontiniu yang disebabkan oleh dua factor utama yaitu manusia dengan adanya aktivitas antropogenik bersifat destruktif dan faktor alam akibat tingginya presipitasi. Kedua faktor tersebut secara simultan menimbulkan tekanan dalam dimensi ekologis, sosial, dan ekonomi sehingga mengancam fungsi DTA Koto Panjang.

Degradasi lahan dan deforestasi menjadi permasalahan dunia yang penting di abad 21, karena berdampak terhadap penurunan produktifitas pertanian, kerusakan lingkungan, berpengaruh kepada keamanan pangan dan kualitas hidup serta terjadi penurunan kualitas tanah (Eswaran et al. 2001). Salah satu DTA yang mengalami degradasi dan deforestasi adalah DTA waduk Koto Panjang akibat tingginya permintaan lahan pertanian, perkebunan, pemukiman dan penruntukan lahan lainnya untuk mendukung kehidupan manusia. Kondisi tutupan lahan yang masih berhutan pada tahun 2011 sebesar 43,59% dan pada tahun 2015 terjadi penurunan sebesar 5,59% menjadi 38,00% dari total luas DTA.

Menurut Irianto (2004) dengan intensitas hujan di Bahorok 200 mm / 2-5 jam, dengan kondisi hutan yang masih alami dan berfungsi baik, maka berdasarkan prediksi transfer air Beven dan Kirby kecepatan air limpasan di lahan akan jauh dibawah 0,7 m/detik, Sehingga kecepatan aliran air disungai akan kurang dari 1 m/detik. Namun ternyata perkiraan kecepatan aliran sungai pada saat kejadian banjir bandang di Wasior adalah jauh lebih besar dimana kecepatan aliran akan mampu membawa massa kayu dan lumpur yang sangat berat. Penurunan tutupan lahan memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kapasitas daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup berbasis jasa ekosistem. Pada kondisi normal jasa ekosistem penyediaan air dan pengaturan tata aliran air dan banjir masih berfungsi sebagai sebagaimana mestinya. Namun dengan dengan curah hujan yang ekstrim tinggi, perilaku manusia/masyarakat yang eksploitatif terhadap lingkungan sehingga pemanfaatan lahan tanpa dilakukan konservasi tanah dan air dapat memberi kontribusi terhadap tingginya potensi banjir pada suatu daerah.

Banjir di daerah tangkapan air waduk Koto Panjang menjadi permasalahan tahunan di musim basah yang mengakibatkan terputusnya akses antar wilayah, kekurangan air bersih, dan munculnya berbagai macam penyakit. Banjir membawa muatan berupa lumpur, pasir dan sampah lainnya akibat erosi di daerah hulu yang menyebabkan sedimentasi pada daerah di hilirnya. Erosi dan sedimentasi yang terjadi akibat kemampuan alam dalam pengaturan air terus berkurang akibat alih fungsi lahan. Akibat ekonomi dari bencana banjir menimbulkan kerusakan dan kehilangan harta benda sangat tinggi secara masif dan cepat, terutama terhadap bangunan rumah tinggal (hilang karena hanyut dan rusak), kerusakan struktur seperti jembatan dan jalan yang memerlukan biaya besar untuk rehabilitasinya. Selain itu kerusakan bangunan infrastruktur dapat mengakibatkan isolasi suatu kawasan pemukiman, akibatnya biaya untuk evakuasi pengirim bantuan menjadi sulit dan mahal. Korban banjir dapat kehilangan mata pencaharian selama dalam masa pemulihan dan penanganan bencana. (Adi, 2013).

1. Kajian ini merupakan kajian pustaka diskriptif dan kuantitatif yang terkait dengan isu bencana yang relevan dengan kejadian di DTA Koto Panjang



Secara ekologi, sosial dan ekonomi. Sumber data penutupan lahan diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Ekoregion diperoleh dari Pusat Pembangunan Pengkajian Ekoregion Sumatera (P3ES) dan Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Barat, Riau, Kabupaten Lima Puluh Kota dan Kampar. Data selanjutnya diperoleh dari media cetak dan elektronik yang pada umumnya merupakan press release BNPB atau BPBD dimana kejadian banjir, kebutuhan air bersih dan kerugian akibat bencana berlangsung selama periode 2003 hingga 2015 dan membandingkan setiap periode untuk mendapatkan trend perubahan tutupan lahan, ketersediaan air dan korban banjir.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kapasitas daya dukung daya tampung lingkungan hidup berbasis jasa ekosistem pada DTA Koto Panjang selama periode 2003, 2007, 2011, dan 2015 berdasarkan trend penurunan penutupan lahan. Selanjutnya membandingkan jasa penyediaan air dengan jasa pengaturan air pada empat periode tersebut. Jasa penyediaan air dihitung berdasarkan pada ketersediaan air pada DTA Koto Panjang dan membandingkan dengan jasa pengaturan tata aliran air dan banjir untuk selanjutnya menghitung trend kerugian akibat banjir.

METODE PENELITIAN

Analisis Daya Dukung Daya Tampung

Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan Hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung perikehidupan manusia, makhluk hidup lain, dan keseimbangan antar keduanya (Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009). Terdapat beberapa metode dalam mengoperasionalisasi konsep daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup di atas, diantaranya adalah yang telah dilakukan oleh Pusat Pengendalian Pembangunan ekoregion Sumatera adalah penggunaan konsep jasa ekosistem (*ecosystem services*).

Ekoregion adalah wilayah geografis yang memiliki kesamaan karakteristik iklim, tanah, air, flora, dan fauna asli, serta pola interaksi manusia dengan alam yang menggambarkan integritas sistem alam dan lingkungan hidup.

Penetapan batas ekoregion dengan mempertimbangkan kesamaan bentang alam, Daerah Aliran Sungai, Keanekaragaman Hayati dan sosial budaya.

Dalam pembahasan tentang jasa ekosistem, ekoregion memiliki peran penting yakni sebagai unit analisis kajian. Hal ini dikarenakan ekoregion ini merupakan komponen alam atau faktor endogen yang lebih statis jika dibandingkan dengan faktor eksogennya berupa tutupan lahan yang cenderung lebih dinamis. Sehingga ekoregion penting untuk dibaca dan memahami potensi dari masing-masing jenis jasa ekosistem

Jasa Ekosistem adalah manfaat yang diperoleh oleh manusia dari berbagai sumberdaya dan proses alam yang secara bersama-sama diberikan oleh suatu ekosistem (MA, 2005). Jasa ekosistem dikategorikan menjadi empat, yaitu meliputi jasa penyediaan (*provisioning*), jasa pengaturan (*regulating*), jasa budaya (*cultural*), dan jasa pendukung (*supporting*) (MA, 2005). Berdasarkan empat kategori ini dikelaskan ada 23 kelas klasifikasi jasa ekosistem, yaitu (De Groot, 2002):

1. Jasa penyediaan: (1) bahan makanan, (2) air bersih, (3) serat, bahan bakar dan bahan dasar lainnya (4) materi genetik, (5) bahan obat dan biokimia, (6) spesies hias.



Jasa Pengaturan: (7) Pengaturan kualitas udara, (8) Pengaturan iklim, (9) Pencegahan gangguan, (10) Pengaturan air, (11) Pengolahan limbah, (12) Perlindungan tanah, (13) Penyerbukan, (14) Pengaturan biologis, (15) Pembentukan tanah.

Budaya: (16) Estetika, (17) Rekreasi, (18) Warisan dan identitas budaya, (20) Spiritual dan keagamaan, (21) Pendidikan.

Pendukung: (22) Habitat berkembang biak, (23) Perlindungan plasma nutfah.

Sistem klasifikasi jasa ekosistem tersebut menggunakan standar dari Millennium Ecosystem Assessment (2005). Berdasarkan batasan konsep tersebut, daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup diukur dengan pendekatan jasa ekosistem. Untuk memperoleh nilai jasa ekosistem digunakan dua penaksiran yaitu *landscape base proxy* dan *landcover/landused based proxy*, yang selanjutnya digunakan dasar untuk melakukan pemetaan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup.

Berdasarkan pengertian dan klasifikasi di atas, terdapat kesamaan substansi pengertian jasa ekosistem dengan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup, dimana pengertian jasa penyediaan, budaya lebih mencerminkan konsep daya dukung lingkungan dan jasa pengaturan memiliki kesamaan substansi dengan daya tampung lingkungan. Sedangkan jasa pendukung bisa bermakna dua yaitu daya dukung maupun daya tampung lingkungan secara operasional, kajian ini menetapkan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup dengan pendekatan konsep jasa ekosistem, dengan pengembangan asumsi dasar sebagai berikut:

Semakin tinggi jasa ekosistem suatu wilayah, maka semakin tinggi kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung perikehidupan manusia, makhluk hidup lain, dan keseimbangan antar keduanya (lihat jasa penyediaan, Jasa budaya, dan pendukung).

Semakin tinggi jasa ekosistem suatu wilayah, maka semakin tinggi kemampuan lingkungan hidup untuk menyerap zat, energi, dan/ atau komponen lain yang masuk atau dimasukkan ke dalamnya (lihat jasa pengaturan).

Konsep daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup berbasis jasa ekosistem tersebut di atas, secara operasional dilakukan dengan menggunakan pendekatan keruangan yaitu menyusun peta daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup jasa ekosistem sebanyak jenis jasa ekosistem yang dikaji (20 jasa ekosistem).

Penelitian dilakukan pada Daerah Tangkapan Air (DTA) PLTA Koto Panjang Kabupaten Kampar Provinsi Riau dan Kabupaten Lima Puluh Kota Provinsi Sumatera Barat pada bulan juni-Agustus 2018. Untuk mengidentifikasi unsur kritis pada DTA PLTA Koto Panjang dilakukan melalui proses *overlay* dalam operasi-operasi Sistem Informasi Geografis terhadap peta-peta tematik (data sekunder) yang ada yaitu peta penutupan lahan, peta kemiringan lereng, peta tingkat bahaya erosi, dan peta pengelolaan lahan (peta manajemen dan peta produktivitas).

Analisis Daya Dukung Air

Ketersediaan air merupakan potensi air per wilayah sungai yang berada di Koto Panjang. Penyebarannya dipetakan pada peta grid skala ragam dengan resolusi 5" (lima detik) = $\pm 150 \text{ m} \times 150 \text{ m}$ terdistribusi sesuai nilai

1. jasa penyediaan air (P2). Kebutuhan Air Total merupakan jumlah kebutuhan air keseluruhan yang digunakan untuk keperluan pada lahan



pertanian dan kebutuhan air penduduk (domestik). Penyebarannya dipetakan pada peta grid skala ragam dengan resolusi 5" (lima detik) = ± 150 m x 150 m terdistribusi sesuai standard kebutuhan air Kementan untuk kebutuhan air lahan dan standard kebutuhan air domestik per kapita.

Rumus perhitungan penggunaan air untuk sawah per tahun:

$$A = L \times It \times a$$

Dimana :

- = Penggunaan air
- = Luas daerah (Ha)
- = Intensitas tanaman dalam prosen (%) musim/tahun
- = Standar penggunaan air (1 L/det/ha) atau
- = $0,001 \text{ m}^3/\text{det}/\text{ha} \times 3600 \times 24 \times 120 \text{ hari/musim}$

Rumus perhitungan penggunaan air untuk ladang per tahun:

$$A = L \times It \times a$$

Dimana :

- = Penggunaan air
- = Luas daerah (Ha)
- = Intensitas tanaman dalam prosen (%) musim/tahun
- = Standar penggunaan air (0,25 L/det/ha) atau
- = $0,00025 \text{ m}^3/\text{det}/\text{ha} \times 3600 \times 24 \times 120 \text{ hari/musim}$

Rumus perhitungan penggunaan air untuk perkebunan per tahun:

$$A = L \times It \times a$$

Dimana :

- = Penggunaan air
- = Luas daerah (Ha)
- = Intensitas tanaman dalam prosen (%) musim/tahun
- = Standar penggunaan air (0,375 L/det/ha) atau
- = $0,000375 \text{ m}^3/\text{det}/\text{ha} \times 3600 \times 24 \times 120 \text{ hari/musim}$

Perhitungan kebutuhan air domestik dilihat dengan membandingkan kebutuhan air perkapita sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 17 tahun 2009. Kebutuhan air domestik per kapita menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 17 tahun 2009 adalah 43,2 liter/hari atau 15,75 m³/thn. Sehingga dalam input data perlu ditambahkan :

Peta Grid Skala Ragam dengan resolusi 5" (± 150 m x 150 m).

Data populasi penduduk.

Data potensi air Wilayah Sungai, Puslitbang Sumber Daya Air, Kemen PUPR, 2017. Setelah diperoleh kapasitas daya dukung air selanjutnya dilakukan perhitungan status yaitu status belum terlampaui apabila ketersediaan air lebih besar dari kebutuhan air total dan status terlampaui apabila ketersediaan air lebih kecil dari kebutuhan air total

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas wilayah kajian DTA Koto Panjang seluas 329.345,77 ha didasarkan pada perhitungan SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) yaitu model keajaiban kontinyu untuk skala DAS (Daerah Aliran Sungai). Selanjutnya dilakukan smooting data vektor line dan poligon untuk menghasilkan data yang lebih prsisi. Hasil smooting line dan poligon luas wilayah kajian



menjadi 342.126,03 ha. Berdasarkan kondisi tutupan lahan tahun 2015 DTA Koto Panjang terdiri dari 9 kategori tutupan lahan SNI 2014 yaitu Danau, Hutan Lahan Kering Primer, Hutan Lahan Kering Sekunder, Perkebunan, Permukiman, Pertanian Lahan Kering, Pertanian Lahan Kering Campur, Semak Belukar, dan Tanah Terbuka. Tutupan lahan adalah kondisi kenampakan biofisik permukaan bumi yang diamati. Penggunaan lahan adalah pengaturan, kegiatan dan input terhadap jenis tutupan lahan tertentu untuk menghasilkan sesuatu, mengubah atau mempertahankannya. Analisis akan lebih efektif jika data yang dihasilkan dari kedua istilah tersebut digabungkan karena memungkinkan mendeteksi lokasi perubahan terjadi, perubahan tipe dan bagaimana suatu lahan berubah (Jansen dan Gregorio, 2002).

Tabel 1. Hasil Identifikasi Tutupan Lahan Tahun 2015 (dalam ha)

No.	Penutupan Lahan	Luas (ha)	%
1	Danau	10.421,56	3,05
2	Hutan Lahan Kering Primer	58.059,09	16,97
3	Hutan Lahan Kering Sekunder	105.222,20	30,76
4	Perkebunan	24.800,38	7,25
5	Permukiman	1.313,02	0,38
6	Pertanian Lahan Kering	40.450,29	11,82
7	Pertanian Lahan Kering Campur	72.588,54	21,22
8	Semak Belukar	28.512,11	8,33
9	Tanah Terbuka	758,85	0,22
Jumlah		342.126,03	100,00

Sumber : KLHK 2015

Tutupan lahan tahun 2015 DTA Koto Panjang secara umum didominasi oleh Hutan Lahan Kering Sekunder sebesar 30,76% dan yang terkecil adalah Tanah terbuka sebesar 0,22%. Berdasarkan syarat minimal dalam suatu kawasan DTA 30% harus terdiri tegakan berupa hutan maka DTA Koto Panjang masih memiliki tutupan lahan berupa hutan lahan kering primer dan hutan lahan kering sekunder sebesar 38,00% dari luas total DTA. Hal ini mengindikasikan terjadinya banjir di DTA koto Panjang kondisi tutupan lahan memiliki peran atau kontribusi kecil karena syarat minimal dalam kawasan sudah terpenuhi. Sedangkan kontribusi lainnya diduga disebabkan kondisi geomorfologi yang bergunung dan lereng curam, formasi geologi terdiri dari batuan vulkanik muda, dan perilaku masyarakat yang eksploitatif terhadap lingkungan sehingga pemanfaatan lahan tanpa dilakukan konservasi tanah dan air

Tabel 2. Hasil Identifikasi Ekoregion (dalam ha)

	Ekoregion	Luas (ha)	%
1	Lembah antar perbukitan/ Pegunungan Lipatan (Intermountain Basin)	43.290,89	12,65
2	Pegunungan Lipatan	200.350,69	58,56
3	Perbukitan Lipatan	86.626,36	25,32
4	Perbukitan Patahan	4.006,44	1,17
5	Tubuh Air	7.851,65	2,29
Jumlah		342.126,03	100,00

Sumber : P3ES, 2015



berdasarkan identifikasi terhadap ekoregion menunjukkan bahwa DTA Koto Panjang didominasi oleh Pegunungan Lipatan sebesar 58,56%, sedangkan yang terkecil adalah perbukitan lipatan sebesar 1,17%. Hal ini menunjukkan bahwa secara alamiah kondisi DTA Koto Panjang merupakan daerah yang memiliki topografi landai mendekati curam. kondisi geomorfologi yang bergunung dan lereng curam memiliki potensi terjadinya bahaya banjir dan tanah longsor. Sehingga penetapan status rawan bencana banjir dari kriteria bentang lahan yang kontras antara perbukitan dengan kemiringan lereng yang curam menjadi dataran rendah; dataran rendah yang merupakan zona endapan yang membentuk bentang lahan berupa aluvial fan (*Kipas aluvial*); daerah hulu terdiri dari batuan lapuk pada zona gempa, sehingga adanya gempa bumi akan memicu terjadinya longsor pada tebing gunung dengan kelerengan tinggi terpenuhi. Meskipun belum ada kegiatan manusia potensi bahaya banjir di DTA Koto Panjang cukup besar.

Tabel 2. Kapasitas Daya Dukung Air dan Jasa Pengaturan Air

No.	Ekoregion	Skor	Kriteria
1	Lembah antar perbukitan/ Pegunungan Lipatan (Intermountain Basin)	41,50	Sudah Terlampaui
	Pegunungan Lipatan	32,15	Sudah Terlampaui
	Perbukitan Lipatan	12,52	Sudah Terlampaui
	Perbukitan Patahan	19,48	Sudah Terlampaui
	Tubuh Air	89,72	Belum Terlampaui
	Lembah antar perbukitan/ Pegunungan Lipatan (Intermountain Basin)	85,21	Belum Terlampaui
	Pegunungan Lipatan	83,18	Belum Terlampaui
	Perbukitan Lipatan	71,62	Belum Terlampaui
	Perbukitan Patahan	69,48	Belum Terlampaui
	Tubuh Air	99,52	Belum Terlampaui

Keterangan: 1= Jasa penyediaan air

2= Jasa Pengaturan air

diatas menunjukkan bahwa tutupan lahan perairan/tubuh air pada ekoregion memiliki kapasitas daya dukung penyediaan air bersih yang tinggi, dan ini dibuktikan bahwa daya dukung air tertinggi berada pada ekoregion tubuh air baik dari jasa penyediaan maupun jasa pengaturan. pembuatan waduk DTA Koto Panjang bertujuan sebagai pengendali banjir dan sebagai penyedia air irigasi untuk mendukung pertanian dan perkebunan baik diatas maupun dibawah DTA. Sedangkan kapasitas daya dukung air terendah berada pada Perbukitan dengan skor 12,52, dengan demikian bentang lahan ini memiliki potensi air sangat rendah sehingga tidak banyak keanekaragaman hayati dan fauna yang dapat tumbuh dan manusia yang bermukim diatasnya.



u tiniauan suatu masalah.

Keterangan:



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

Disampaikan dalam Diskusi Tim DDDTLH Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Yogyakarta

Muridin, N., Bahri, S., Zulkarnain, Z., & Sukendi, S. (2017). Analisis Indeks Penutup Lahan Daerah Tangkapan Air Waduk PLTA Koto Panjang Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). In *Pengembangan Infrastruktur Berkelanjutan untuk Meningkatkan Daya Saing Bangsa* (Vol. 3, pp. 219–227).

Oeyh, E. 1990. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Yogyakarta (ID): Gadjahmada University Press

SRP. 2003. *Pengelolaan Sumberdaya Lahan*. Program Studi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.