

DAMPAK PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP SUMBER DAYA AIR: STUDI LITERATUR DAN HASIL PENELITIAN

Land Use Impacts on Water Resources: Literature Study and Research Result

LA ODE ALWI¹⁾ DAN SITTI MARWAH²⁾

¹⁾Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo, Kendari

²⁾Jurusan Kehutanan Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan Universitas Halu Oleo, Kendari

ABSTRACT

The impacts of land use, from forest to non-forest (mixed garden, husbandry, and fishery), mining, urbanization, industry and infrastructure in upstream area can give negative impact on water resource environment. Its impact in Wanggu watershed during 1992-2010 were: a) increasing of erosion by 17.6 m³ per ha per year (81,9%), sediment by 2.2 m³ per ha per year, b) decreasing of infiltration capacity by 1.8 m per hour, soil permeability by 2.1 cm per hour, base flow and increasing run-off by 262.7 mm per year (48,8%), CRO by 0,13(46,6%), peak discharge (Qmax) by 114.2 m³ per second and decreasing of water available resources (Qmin) by 3.0 m³ per second and ratio Qmax-Qmin by 38.1 and c) decreasing of water quality because of pollution by TSD, nutrient (NO₃⁻, PO₄⁻³, SO₄⁼), DO, BOD, COD, metal (Cu, Fe, Zn), pesticide, pathogen, salt, oil, color and change of temperature regime. Its impact was categorized as light to moderate pollution. The pollution of out-let Wanggu river was classified as serious category by DO, COD and SO₄⁼. The impacts of land use in Batanghari River were: DO, BOD, COD, NH₃, NO₂, Zn, Fe and Cu with pollution category as light to moderate. Pollution categorized as serious category by waste: agriculture, urbanization, infrastructure and industry occurred in out-let of Ciliwung River Jakarta, and out-let Berantas River in Surabaya city. Decreasing of water volume and water quality also occurred in some states likes in India, Bangladesh, Thailand, Australia, United State of America and Fiji Island.

Keywords: Land use impacts, soil conservation, erosion, sedimentation, run-off, water quality

PENDAHULUAN

Praktek penggunaan lahan di beberapa DAS di Indonesia seperti: DAS Wanggu, DAS Baubau, DAS Konaweha Sulawesi Tenggara, DAS Saddang dan DAS Lamasi Sulawesi Selatan dan DAS Batanghari Jambi tidak sesuai dengan kaidah-kaidah konservasi tanah dan air telah menyebabkan terjadinya erosi bagian hulu DAS dan sedimenasi di bagian hilir DAS serta menyebabkan degradasi sumberdaya lahan dan terganggunya kondisi hidrologis DAS (Alwi *et al.*, 2011; Alwi, 2012). Penggunaan lahan tersebut telah memberikan dampak yang sangat penting baik bagi ketersediaan maupun kualitas dari sumber

daya air. Dampak ini dapat bersifat positif maupun negatif. Keuntungan dari peningkatan pengelolaan lahan telah meningkatkan pendapatan masyarakat, tetapi telah menimbulkan peningkatan biaya yang mahal. Dampak dari kegiatan tersebut telah menimbulkan dampak negatif berupa ketidakcukupan penggunaan sumberdaya air, yang mungkin tidak hanya dirasakan oleh para pengguna air tapi juga oleh masyarakat sekitar yang tinggal di DAS, dimana mereka menggunakan air tanah (*Water Table*).

Perubahan penggunaan lahan hutan ke non hutan bidang (pertanian, kehutanan, peternakan, perikanan, infrastruktur, permukiman dan industri yang tidak konservatif di beberapa negara, termasuk Indonesia, khususnya di beberapa DAS seperti:

¹⁾ Alamat korespondensi:
Email : alwi_laode@yahoo.com

DAS Wanggu dan DAS Baubau Sulawesi Tenggara, DAS Batanghari Provinsi Sumatera Selatan dan Jambi, DAS Saddang dan DAS Lamasi di Sulawesi Selatan telah menimbulkan dampak negatif seperti peningkatan: erosi, run off, koefisien run-off, sedimentasi, dan penurunan kualitas air oleh bahan pencemaran. Selain itu, juga telah menyebabkan terjadinya banjir di musim hujan dan kelangkaan air bersih, kelangkaan air di musim kemarau dan kebarakan hutan dan semak belukar (Agenda 21 Indonesia, 199.; Alwi *et al.*, 2011; Alwi, 2012).

Penggunaan lahan hutan dari luas 19.554,2 ha (43,1%) menjadi 10,467.8 ha (23,1%) telah menyebabkan kondisi hidrologis DAS Wanggu terganggu yang dicirikan oleh fluktuasi debit sungai ($Q_{max}/Q_{min} > 30$), erosi $> ET_{ol}$ dan banjir (Alwi, 2012).

Berdasarkan beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan hutan ke non hutan di hulu DAS Wanggu, Baubau dan DAS Lamasi telah terjadi peningkatan run-off, koefisien run-off, Q_{max}/Q_{min} , erosi, dan sedimentasi telah menyebabkan penurunan kapasitas infiltrasi tanah, permeabilitas tanah, kualitas tanah, kesuburan tanah dan produktivitas pertanian (Alwi, 2012) dan (Alwi *et al.*, 2011). Sebagai contoh pada DAS Wanggu terjadinya degradasi lahan telah menurunkan produktivitas lahan pertanian kakao 2 ton ha th^{-1} menjadi 0,75 ton ha th^{-1} , padi gogo 1,6 ton ha th^{-1} menjadi 0,9 ton ha th^{-1} , jagung 2 ton ha th^{-1} menjadi 1,2 ton ha th^{-1} , disisi lain terjadi pendangkalan pada saluran irigasi, badan sungai, rawa dan rusak lingkungan di Teluk Kendari. Dampak penggunaan lahan di *in site* telah menyebabkan degradasi lahan dicirikan oleh peningkatan erosi pada kebun campuran, tegalan, semak belukar rata-rata yakni 55,3 ton ha $th^{-1} > ET_{ol}$ 32,7 ton ha th^{-1} , sedangkan pada hutan erosi 8,5 ton ha $th^{-1} < ET_{ol}$ 32,7 ton ha th^{-1} (Marwah, 2000).

Berdasarkan hal tersebut di atas terdapat beberapa pokok permasalahan yang menjadi kajian dalam penelitian adalah 1) penggunaan lahan dari hutan ke non hutan di wilayah DAS tidak mencukupi syarat minimal luas hutan 30% luas DAS, 2) dampak perubahan penggunaan lahan yang telah menyebabkan kondisi lahan dan kondisi hidrologis DAS terganggu, 3) penggunaan lahan tersebut membutuhkan penataan ulang luas hutan

pada DAS mencapai minimal 30% dan penggunaan agroteknologi yang ramah lingkungan. Berdasarkan beberapa hasil studi menunjukkan bahwa konversi hutan menurunkan kualitas tanah, tetapi akan meningkat kembali dengan pembeeraan, penerapan konservasi tanah yang tepat atau dengan sistem agroforestry kakao (Marwah, 2008; Handayani, 2001; Anas *et al.*, 2005; Multilaksono *et al.*, 2005).

Penggunaan lahan di wilayah DAS membutuhkan penataan yang serius agar tidak terjadi konflik kepentingan antar pengguna lahan yang berkeinginan meningkatkan produksi dan pendapatan mereka dengan pihak yang mempertahankan hutan untuk kelestarian lingkungan hidup berupa sumberdaya: tanah, flora, fauna dan air serta udara terpelihara.

Tujuan penelitian adalah 1) menganalisis dampak penggunaan lahan hutan ke non hutan terhadap kondisi tanah dan hidrologi DAS, 2) menetapkan dampak penggunaan lahan terhadap erosi, sedimentasi, run-off, koefisien run off, rasio debit maksimum-debit minimum dan dampak terhadap kualitas air sungai, 3) merumuskan dan menetapkan model penggunaan lahan dan agroteknologi yang ramah lingkungan di hulu DAS.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu. Penelitian ini dilaksanakan di perpustakaan IPB, Perpustakaan pribadi dan perpustakaan Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo Kendari melalui studi literatur. Penelitian dilaksanakan mulai Juli 2013 sampai Mei 2014.

Studi literatur difokuskan pada penelitian penggunaan lahan di wilayah hulu DAS pada beberapa DAS di Indonesia dan sebagai pembandingan menggunakan beberapa wilayah sungai (DAS) di India dan Thailand. Studi literatur yang digunakan oleh peneliti adalah merupakan hasil penelitian yang telah dilaksanakan di beberapa DAS di Indonesia sejak tahun 2009 sampai tahun 2013. Hasil penelitian tersebut sebagian telah dipublikasikan pada majalah ilmiah dan sebagian belum dipublikasikan, akan tetapi telah disetujui dan dibukukan oleh institusi pemberi dana.

Metode Pelaksanaan Penelitian.

Penelitian ini menggunakan metode study literatur (*Library Study Method*) dengan menggunakan referensi resmi seperti jurnal ilmiah, disertasi, tesis, teks book atau referensi yang resmi lainnya yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Penggunaan Data dan Analisis Data. Data yang digunakan adalah data penggunaan lahan hutan ke non hutan dari referensi yang resmi seperti: jurnal ilmiah, disertasi, tesis dan teks book. Data tersebut dapat dipertanggungjawabkan baik kesahihan data maupun kualitas keilmuannya. Data penggunaan lahan adalah: hutan ke non hutan (kebun campuran, tegalan, semak belukar dan pemukiman). Data dampak penggunaan lahan terhadap: 1) sumberdaya air dan 2) regim hidrologis. Data tersebut berupa data sekunder dari hasil penelitian dan dari referensi yang resmi. Data kondisi tanah dan kondisi hidrologis DAS dianalisis dengan menggunakan metode deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dampak Penggunaan Lahan Terhadap Sumberdaya Air. Dalam hubungannya dengan membangun hubungan antara pengguna air di daerah hulu dan hilir, maka sangat penting untuk mendapatkan gambaran yang jelas mengenai dampak yang mungkin muncul dari penggunaan lahan, baik terhadap ketersediaan air dalam jumlah volume maupun kualitas air dalam skala tertentu. Kedua hal tersebut berkaitan erat dengan siklus hidrologi. Pada bagian selanjutnya, dampak penggunaan lahan dikelompokkan berdasarkan kategori tertentu untuk mengetahui faktor utama dibalik dampak tersebut.

Tulisan ini memfokuskan pada penggunaan lahan di bidang pertanian seperti padang rumput, kehutanan, dan perikanan sebagaimana yang telah dicantumkan oleh FAO. Penggunaan lahan lain seperti pertambangan dan quarrying, urbanisasi dan industrialisasi yang juga memiliki dampak yang sangat penting terhadap siklus hidrologi tidak dibahas dalam tulisan ini. Lebih jauhnya, tulisan ini akan mengutamakan pada dampak fisik dari sumberdaya air. Dampak terhadap makhluk hidup di daerah perairan seperti ikan,

dan organisme air lainnya tidak dibahas lebih lanjut. Dampak dari penggunaan lahan terhadap sumberdaya air tergantung pada keadaan alamiah dan faktor sosial ekonomi di daerah tersebut. Faktor-faktor alamiah meliputi iklim, topografi, penutupan lahan dan sifat fisik tanah. Sedangkan faktor sosial ekonomi meliputi kemampuan ekonomi dan kesadaran dari petani, praktek manajemen, dan perkembangan infrastruktur seperti jalan, jembatan dan lain-lain. Selanjutnya, dampak penggunaan lahan pertanian sangat sulit dihilangkan dari pengaruh alam dan manusia sebagai contoh: dampak terhadap aliran permukaan (*run-off*) dan sistem pembuangan sampah kota yang berdampak pada penurunan permukaan air dan air tanah.

Dampak Penggunaan Lahan Terhadap Regim Hidrologi. Penggunaan lahan yang sesuai kemampuannya berpengaruh terhadap regim hidrologis, regim hidrologi dapat menghilangkan dampak negatif terhadap sumber daya air permukaan dan air bawah tanah. Dampak dari penggunaan lahan terhadap air permukaan dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu: (i) dampak terhadap ketersediaan air secara keseluruhan atau disebut juga aliran permukaan rata-rata tahunan (*mean annual runoff*), dan (ii) dampak terhadap distribusi dan ketersediaan air musiman. Oleh karena itu, dampak terhadap perubahan musim kering sangat penting. Sementara itu, berkaitan dengan dampaknya terhadap air bawah tanah, efek dari penggunaan lahan terhadap pemulihan kondisi air bawah tanah harus diteliti lebih lanjut.

Aliran Permukaan Rata-rata Musiman (*Mean surface Run-off Soason*). Dampak penggunaan lahan terhadap rata-rata aliran permukaan adalah fungsi dari berbagai variabel, variabel terpenting adalah regim air dan tanaman penutup lahan yang berhubungan dengan evapotranspirasi (ET), kemampuan tanah untuk menahan air (kapasitas infiltrasi), dan kemampuan tanaman penutup lahan untuk mempertahankan kelembapan. Perubahan penggunaan lahan dari ET yang lebih rendah menuju ET yang lebih tinggi akan menyebabkan penurunan aliran sungai tahunan. Berdasarkan 94 percobaan yang

telah dilakukan, Bosch dan Hewlett (1982) menyimpulkan bahwa keberadaan hutan jarang (*sparse*) akan menurunkan jumlah air. Hutan konifer, tanaman keras tahunan, semak, dan rumput dapat menurunkan pengaruh pada jumlah air pada suatu daerah yang vegetasinya telah terganggu (dimanipulasi).

Sebaliknya, perubahan dari tanaman yang memiliki ET tinggi ke tanaman dengan ET rendah akan meningkatkan aliran permukaan rata-rata: pengurangan jumlah hutan akan meningkatkan air yang hilang (Bosch and Hewlett, 1982; Calder, 1992). Meskipun demikian, dampak ini sangat tergantung pada praktek pengelolaan dan alternatif penggunaan lahan. Perlu diperhatikan, penyadapan karet yang selektif hanya berdampak sedikit atau bahkan tidak berdampak terhadap aliran sungai. Aliran sungai setelah masa matangnya pepohonan bisa lebih tinggi, sama, atau lebih rendah dari nilai sebenarnya, tergantung pada jenis vegetasi (Bruijnzeel, 1990). Pengecualian terhadap aturan ini terjadi pada *cloud forest*, yang dapat menahan kelembaban lebih banyak daripada evapotranspirasinya (Bosch dan Hewlett, 1982) dan hutan-hutan yang sudah sangat tua dan tergantung pada jenis spesies akan mengambil air yang lebih sedikit daripada tanaman lain yang baru tumbuh setelah mengalami pemangkasan (Calder, 1998).

Aliran sungai mengalami penurunan dari waktu ke waktu dengan adanya tanaman penutup lahan yang baru. Di daerah humid yang hangat (tropis), efek dari pemangkasan lebih rendah dibandingkan daerah humid (non

tropis) karena adanya pertumbuhan kembali yang sangat cepat (Falkenmark dan Chapman, 1989).

Peningkatan cadangan air akibat perubahan tanaman penutup lahan tidak selalu berhubungan dengan peningkatan ketersediaan air di daerah hilir. Aliran sungai mungkin akan menurun akibat faktor lain seperti pemakaian air oleh tanaman atau kehilangan melalui penyebaran/transmisi atau infiltrasi channel (Brooks *et al.*, 1991). Dampak dari penggunaan lahan terhadap rata-rata aliran permukaan musiman dapat dibagi atas: a) Aliran puncak/ banjir (*Peak Discharge*), b) Aliran dasar (*Base Flow*) di musim kemarau, dan c) Pengisian kembali air bawah tanah.

Aliran Permukaan (*run-off*). Aliran permukaan dapat meningkat sebagai hasil dari perubahan penggunaan lahan jika kapasitas infiltrasi dari tanah (Inf) juga menurun karena erosi dan pemadatan tanah sehingga kapasitas *run off* (RO) dan koefisien *run-off* (CRO) meningkat (Tabel 1). Aliran permukaan/ aliran puncak dapat meningkat setelah penebangan pohon-pohon (Bruijnzeel, 1990). Peningkatan relatif dari aliran saat hujan besar setelah penebangan pohon sangat kecil untuk keadaan penggunaan lahan yang besar dan sangat besar untuk keadaan penggunaan lahan yang kecil. Sebagai akibat dari peningkatan jumlah presipitasi, pengaruh aliran saat hujan besar (*storm flow*) terhadap tanah dan penutup lahan dapat dikurangi (Bruijnzeel, 1990).

Tabel 1. Dampak penggunaan lahan terhadap Indikator hidrologi (E, Inf, PP, RO & CRO)

Penggunaan lahan	Erosi (E) (ton ha ⁻¹ th ⁻¹)	Inf (cm jam ⁻¹)	PP (cm jam ⁻¹)	RO (mm th ⁻¹)	CRO
Kebun campuran (KC)	8,9 b	6,00 b	4,50 b	364,6 d	0,19 ab
Semak belukar (SB)	13,9 bc	3,97 b	3,37 c	432,6 c	0,22 b
Tegalan (T)	36,3 e	5,37 ab	3,10 cd	617,4 b	0,32 c
Pemukiman (P)	19,5cd	4,17 b	2,33 d	814,0 a	0,42 d
Hutan (H)	2,3 a	6,67 a	5,43 a	267,6 e	0,14 a
BNT _{0,05}			2,53		
BNT _{0,01}		0,83		46,71	0,072

Keterangan: Laju infiltrasi (Inf), permeabilitas profil (PP), aliran permukaan (RO), koefisien aliran permukaan (CRO) CH = 1.933,2 mm th⁻¹

Penggunaan lahan hutan di DAS Wanggu menunjukkan bahwa indikator hidrologi

seperti: erosi, Inf, PP, RO dan CRO lebih rendah dan berbeda nyata dengan

penggunaan lahan lahan lainnya (Tabel 1). Hal ini sesuai yang dikemukakan oleh Alwi (2011) bahwa perubahan penggunaan lahan hutan ke non hutan berdampak terhadap peningkatan RO dari: 538,6 mm th⁻¹ menjadi 801,3 mm th⁻¹, CRO dari: 0,28 menjadi 0,41 Q_{max}/ Q_{min} dari: 24,8 menjadi 33,4. Selanjutnya aliran puncak pada perubahan penggunaan lahan di hulu DAS Wanggu dan Konaweha dari hutan ke kebun lada, kakao, buah-buahan, tanaman semusim seperti: padi ladang, palawija telah menyebabkan penurunan intersepsi potensial, kapasitas infiltrasi tanah, dan tingginya kerapatan sistem drainase sungai telah menyebabkan peningkatan aliran permukaan (*Runoff*) dan sebagai akumulasinya terjadi aliran puncak di hilir DAS (Marawah, 2008 dan Alwi, 2012).

Peningkatan aliran puncak dapat disebabkan oleh pembangunan jalan dan infrastruktur. Studi di barat laut Amerika menunjukkan bahwa pembangunan jalan dapat meningkatkan aliran permukaan secara signifikan (La Marche and Lettenmaier, 1998; Bowling and Lettenmaier, 1997). Penggabungan dari petak/jalan yang lebih kecil menjadi bidang yang lebih dapat meningkatkan kecepatan aliran permukaan lebih tinggi karena sistem drainase dan akses jalan aspal (Falkenmark and Chapman, 1989). Sebaliknya puncak aliran dapat menurun dengan peningkatan kapasitas infiltrasi tanah.

Alwi (2012) menyatakan bahwa perubahan penggunaan lahan di DAS Wanggu dari hutan/kebun ke pembangunan infrastruktur: jalan, penimbunan jalan, pemukiman, jembatan), deliniasi sungai, penggusuran tanah bukit telah menyebabkan erosi, tertutupnya porositas tanah menurunnya kapasitas infiltrasi, rusaknya sistem drainase alamiah maupun drainase buatan sehingga menyebabkan terjadinya aliran puncak/ banjir (*peak discharge*). Pada dataran (basin) yang lebih luas, pengaruh penggunaan lahan terhadap puncak aliran bergantung pada waktu, perbedaan penggunaan lahan, dan curah hujan (Bruijnzeel, 1990). Pada badan air yang lebih luas, efek desinkronisasi dapat mengurangi meskipun secara umum aliran besar saat hujan meningkat karena perubahan penggunaan lahan (Brooks *et al.*, 1989).

Aliran Dasar (*Base Flow*) di Musim Kemarau. Efek perubahan penggunaan lahan

terhadap aliran dasar pada musim kemarau tergantung pada proses kompetisi, perubahan yang paling khusus antara ET dan kapasitas infiltrasi. Dampak secara langsungnya harus dianalisis lebih teliti (Calder, 1998). Selanjutnya efek perubahan penggunaan lahan dari hutan ke kebun campuran, ladang dan *illegal logging* di hulu DAS Baubau telah menyebabkan menurunnya aliran dasar di musim kemarau, akibatnya perhotelan di kota Baubau kekurangan air bersih (Alwi *et al.*, 2013).

Di daerah tropis, penghutanan kembali menyebabkan penurunan aliran di musim kemarau akibat peningkatan evapotranspirasi. Di Mae Thang, Thailand, program penghutanan kembali menyebabkan adanya cadangan air di daerah hilir, yang dihasilkan pada akhir musim hujan oleh adanya air dari tanaman dan ketersediaan air irigasi lebih rendah (Chomitz and Khumari, 1996). Demikian pula yang terjadi di Kepulauan Fiji dimana penghutanan kembali hutan pinus dalam skala besar (60.000 ha) untuk ditanami rumput menyebabkan pengurangan aliran air di musim kemarau sebesar 50-60% dan memerlukan penggunaan alat hidro elektrik dan beresiko terhadap pasokan air minum (FAO, 1987). Sebagian besar percobaan yang dilakukan di daerah dengan curah hujan tinggi menunjukkan bahwa penebangan hutan (atau perubahan dari tanaman pengambil air tinggi dengan tanaman pengambil air rendah) akan meningkatkan aliran air di musim kemarau (Brooks *et al.*, 1991). Sebaliknya, aliran di musim kemarau pada lahan yang dihutankan kembali akan menurun jika kapasitas infiltrasi tanah dikurangi, seperti penggunaan alat-alat berat (Bruijnzeel, 1990). Aliran rendah yang dihasilkan dari penambahan di musim kemarau ini tidak selalu dipengaruhi oleh perubahan vegetasi penutup lahan (Brooks *et al.*, 1991).

Pengisian Kembali Air Bawah Tanah. Pengisian kembali air bawah tanah dapat ditingkatkan atau diturunkan sebagai akibat dari praktek penggunaan lahan. Faktor penyebab utamanya adalah ET dari vegetasi penutup lahan dan kapasitas infiltrasi dari tanah. Pengisian kembali air bawah tanah terkadang berhubungan dengan lamanya musim kering, dimana sumbangan air bawah tanah sangat bergantung terhadap sungai saat

musim kemarau tiba. Permukaan air dapat naik sebagai akibat dari penurunan evapotranspirasi, seperti penebangan hutan, konversi dari hutan menjadi padang rumput untuk penggembalaan ternak. Pengisian kembali dapat meningkat sebagai akibat dari peningkatan laju infiltrasi, seperti akibat adanya penghutanan kembali pada daerah terdegradasi (Calder, 1998). Sebaliknya, permukaan air dapat turun sebagai akibat dari penurunan infiltrasi tanah, contohnya: penerapan usaha pertanian tanpa menerapkan teknik konservasi dan pemadatan tanah. Demikian juga, adanya padang rumput dapat mengurangi infiltrasi dan pengisian kembali air bawah tanah (Chomitz and Kumari, 1996). Jika kapasitas infiltrasi menurun, ini akan berakibat pada kekurangan air saat musim kemarau, bahkan pada daerah dimana ketersediaan air berlimpah, seperti perladangan berpindah di Propinsi Cherapunji, India (FAO, 1999). Selain itu, pengisian kembali air bawah tanah dapat dikurangi akibat penanaman spesies pohon dengan perakaran dalam seperti eucalyptus (Calder, 1998).

Dampak Penggunaan Lahan Terhadap Kualitas Air. Praktek penggunaan lahan dapat mempunyai dampak yang sangat penting terhadap kualitas air, dimana dampaknya dapat bersifat negatif, atau dalam beberapa kasus dapat juga berdampak positif bagi pengguna air di daerah hilir. Dampak ini meliputi perubahan: a) erosi dan jumlah sedimen dan b) konsentrasi unsur, garam, logam dan agrochemicals, influx patogen, dan perubahan regim temperatur.

Erosi (*Erosion*) dan Jumlah Sedimen (*Sediment*). Hutan adalah pencegah/ penahan dari erosi tanah. Perlindungan yang diberikan sangat besar karena adanya vegetasi dan serasah, serta efek dari jaringan akar yang saling berhubungan. Vegetasi penutup lahan dapat mencegah terjadinya pergerakan tanah yang dangkal (Bruijnzeel, 1990). Meskipun demikian, pergerakan tanah yang berat pada suatu daerah tidak hanya dipengaruhi oleh vegetasi penutup. Pergerakan tanah seperti ini akan membawa banyak sedimen, seperti yang terjadi di bukit-bukit di Pegunungan Himalaya. (Bruijnzeel and Bremmer, 1989). Dampak dari perubahan hutan ke non hutan periode

1992 – 2010 memberikan peningkatan erosi rata-rata dari 2,5 ton tahun⁻¹ menjadi 11,4 ton tahun⁻¹ (Alwi *et al.*, 2011). Selain itu, dampak dari hutan, Agroforestry dan manajemen lahan yang sesuai kelas kemampuan dan kesesuaiannya dapat mencegah/ memperkecil terjadinya erosi ketinggian yang lebih kecil dari erosi dapat ditoleransikan (*Tolerable Soil Loss*) sehingga kualitas air tetap baik dan sebaliknya (Alwi, 2012).

Penghutanan kembali tidak selalu dapat menurunkan erosi tanah. Erosi percik (splash erosion) mungkin akan meningkat ketika serasah dibersihkan dari permukaan tanah hutan (Bruijnzeel, 1990). Selang dari ukuran air yang jatuh sangat tergantung pada kanopi yang dibentuk oleh pohon-pohon dan sangat berbeda tiap spesies, menghasilkan berbagai jenis tipe erosi percik. (Calder, 1998). Penggundulan hutan dapat menyebabkan erosi. Di Malaysia, aliran yang berasal dari daerah yang sudah ditebang membawa sediment 8-17 kali lebih banyak dibandingkan sebelum terjadinya penebangan (Falkenmark and Chapman, 1989). Erosi aktual tergantung pada penggunaan lahan yang diterapkan setelah pohon-pohon tersebut ditebang. Erosi permukaan dari padang rumput yang dipelihara dengan baik, padang penggembalaan, dan pertanian dengan teknik konservasi tanah adalah dari rendah ke sedang (Bruijnzeel, 1990). Konstruksi jalan juga menjadi faktor utama yang menyebabkan erosi selama proses penyadapan getah karet. Di Amerika Serikat, 90% dari erosi disebabkan oleh aktivitas penebangan hutan (Brookset *et al.*, 1991; Bruijneel, 1990).

Efek dari erosi dapat diukur dari sediment yang dihasilkan pada daerah tersebut. Terdapat hubungan yang terbalik antara ukuran basin dengan sediment delivery ratio. Pada basin 100 km², peningkatan mungkin saja terjadi setelah beberapa waktu yang lama (decade), disebabkan oleh adanya efek penyimpanan (Bruijnzeel, 1990) dan (Alwi, 2012). Sedimen di daerah hilir tidak dapat selalu dihubungkan dengan perubahan penggunaan lahan di daerah hulu. Pengaruh manusia terhadap jumlah sedimen menjadi sangat penting di beberapa daerah dengan kondisi geografis yang stabil dan tingkat erosi alami yang rendah. Di daerah dengan curah hujan tinggi, curam, dan tingkat erosi alamiah yang tinggi pengaruh dari penggunaan lahan

tidak dapat diabaikan. Sebagai contoh di Phewa Tal, Nepal, hanya enam persen dari total sedimen yang sudah dihitung dari erosi permukaan (Bruijnzeel, 1990). Alwi (2012) menyatakan bahwa dampak dari kegiatan sektor pertanian dan kehutanan terhadap sedimen 12%–20%, sedangkan pembangunan infrastruktur (jalan, jembatan, penggusuran tanah bukit, pemukiman, pelurusan dan pelebaran sungai serta pembangunan dermaga) berdampak sebesar 80%-88% sedimen.

Sedimen dapat berperan sebagai polutan fisik maupun kimia. Karakteristik sedimen fisik meliputi turbiditas (penetrasi dari cahaya matahari) dan sedimentasi (penurunan kapasitas menahan sedimen di daerah hilir, penurunan jumlah karang, kehilangan sejumlah ekosistem bagi ikan-ikan). Polusi kimia dari sedimen meliputi penyerapan logam dan fosfor, seperti yang terjadi pada hydrophobic organic chemicals (FAO, 1996).

Unsur hara dan bahan organik.

Perubahan penggunaan lahan dapat mengurangi kandungan unsur hara pada permukaan dan air bawah tanah, terutama kandungan Nitrogen (N) dan Fosfor (P). Penggundulan hutan dapat meningkatkan konsentrasi nitrat (NO_3) di air sebagai akibat dari dekomposisi bahan tanaman dan menurunkan pengambilan unsur oleh tanaman. Konsentrasi nitrat yang terbawa oleh aliran permukaan pada daerah yang mengalami penggundulan dapat 50 kali lebih tinggi dibandingkan di daerah hutan yang selalu dijaga selama beberapa tahun (Falkenmark and Chapman, 1989). Aktivitas penggunaan lahan di bidang kehutanan, pertanian, perikanan darat, urbanisasi dan industri dan infrastruktur telah memberikan dampak terhadap kualitas air sungai (Tabel 2).

Tabel 2. Kualitas air sungai di DAS Wanggu pengukuran tahun 2010.

No.	Sungai Wanggu	Titik 1	Titik 2	Titik 3	BM	B-max
Parameter Fisika :						
1	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	2,7	0,8	0,8	3	
2	Padatan tersuspensi (mg L^{-1})	1,01	1,7	10,11	50	
3	Padatan terlarut (mg L^{-1})	20	30	1800	2000	
4	Conduktivitiy (DHL)	0,02	0,05	4,69	50	
B. Parameter Kimia :						
5	pH air (mg L^{-1})	6,95	6,38	6,32	6	8,5
6	BOD (mg L^{-1})	6,1	6,1	7,5	2	
7	COD (mg L^{-1})	35,2	30,2	49,5	50	
8	DO (mg L^{-1})	5	3,0	5,4	4	
9	NO_3^- (mg L^{-1})	1,07	1,1	1,05	10	
10	NO_2^- (mg L^{-1})	0,02	0,01	0,03	0,06	
Kimia Anorganik :						
11	Fe (mg L^{-1})	0,95	2,15	1,2	0,3	
12	Mn (mg L^{-1})	-	0,06	0,05	0,1	
13	Zn (mg L^{-1})	0,02	-	0,06	0,05	
14	Cl^- (mg L^{-1})	19,2	17,2	247	600	
Kimia Organik :						
15	Lemak & minyak (mg L^{-1})	-	-	0,02	600	
	BM	600	600	600	800	

Tabel 2 menunjukkan kualitas air di DAS Wanggu telah mengalami pencemaran ringan dan sedang oleh DO ($2,9-8,5 \text{ mg L}^{-1}$), BOD ($3,9-5,2 \text{ mg L}^{-1}$), COD ($8,5-24,3 \text{ mg L}^{-1}$), NH_3 ($0,01-2,2 \text{ mg L}^{-1}$), NO_2 ($0,02-0,2 \text{ mg L}^{-1}$) dan Zn ($0,01-0,08 \text{ mg L}^{-1}$), Fe ($0,2-1,2 \text{ mg L}^{-1}$) serta Cu sesuai PPRI No 82 Tahun 2001 (Alwi *et al.*,

2012). Kecuali Teluk Kendari mencapai pencemaran sedang sampai berat. Hal yang sama terjadi pada Sungai Batanghari Jambi pencemaran mencapai ringan sampai berat.

Kegiatan pertanian dapat menyebabkan peningkatan terhadap influx nitrogen menuju tubuh air sebagai akibat dari berbagai faktor,

termasuk penggunaan pupuk, peternakan, limbah dari sistem pembuangan sampah, dan aerasi tanah. Di Eropa, pertanian menyumbang sejumlah besar emisi nitrogen terhadap permukaan dan air bawah tanah. Melihat pentingnya N anorganik, jumlah yang disumbang oleh pertanian di Denmark sebesar 50% dan 71% di Belanda (FAO, 1996). Kehilangan hara akibat pencucian yang tinggi dapat terjadi ketika pupuk diberikan pada tanaman berumur pendek di tanah yang permeabel. Pembajakan dapat meningkatkan konsentrasi nitrat pada permukaan dan air bawah tanah karena adanya proses nitrifikasi yang disebabkan oleh keberadaan oksigen pada tanah (Falkenmark and Chapman, 1989). Penerapan dan aliran permukaan langsung dapat menyebabkan pengasaman tanah sebagai akibat dari volatilisasi ammonia, yang selanjutnya dapat meningkatkan kelarutan beberapa logam di tanah (FAO, 1996).

Aliran permukaan langsung dari pertanian dapat menyebabkan degradasi permukaan dan air bawah tanah yang sangat parah. Limbah pertanian menyumbang sekitar 30% jumlah P terhadap air permukaan, sementara sistem pertanian lain menyumbang 16% (FAO, 1996). Sedimen fosfat dapat dibentuk dari kumpulan unsur hara pada dasar danau yang mengalami eutrofikasi, dimana sedimen ini akan terbawa oleh air dalam kondisi anoksidatif. Hal ini membuat eutrofikasi sulit dikontrol melalui pembatasan aliran P. eutrofikasi dapat dicegah dengan *dredging* sedimen atau mengoksidasi hypolimnion, namun pilihan ini membutuhkan biaya yang besar (FAO, 1996).

Peranan pertanian dalam mengkontaminasi tanah dan air permukaan sulit untuk diukur secara tepat. Di sebagian besar negara, pengawasan cukup untuk mencegah pencemaran unsur hara akibat penggunaan lahan untuk pertanian. Di daerah pedesaan, sangat sulit untuk membedakan antara pencemaran akibat pertanian dan pencemaran akibat dari sampah tidak terurus (Alwi *et al.*, 2012). Perikanan (akuakultur) air tawar dapat menambah jumlah unsur hara pada air permukaan melalui sisa makanan yang tidak dimakan oleh ikan atau melalui kotoran ikan (FAO, 1996).

Patogen. Kegiatan penggunaan lahan akan berdampak pada kualitas bakteri di air, yang

dapat berpengaruh terhadap kondisi kesehatan para pengguna air di daerah hilir. Konsentrasi bakteri patogen pada air permukaan dapat meningkat sebagai akibat dari aktivitas penggembalaan ternak besar secara intensif atau aliran sampah dari peternakan (FAO, 1995; Alwi *et al.*, 2012). Pengurangan aliran sungai, sebagai contoh merupakan konsekuensi dari diversifikasi irigasi pada bagian hulu, akan menyebabkan terbentuknya genangan di teras sungai. Hal ini dapat berakibat pada berkembangnya vektor dari beberapa penyakit menular seperti malaria. Vektor penyakit malaria ini akan berkembang dengan cepat pada daerah payau dimana aliran sungai menuju air laut pada estuaria melambat (FAO, 1995).

Pestisida dan Polutan Organik Lainnya.

Secara umum, sejak komponen pestisida didesain bersifat racun dan persisten maka penerapan pestisida menjadi sangat berbahaya untuk tanah dan air bawah tanah. Pencucian pestisida menuju air bawah tanah tergantung pada persistensi dan mobilitas serta struktur tanah. Metabolisme pestisida dapat bersifat racun dan mobil tergantung dari bahan utamanya. Pada manusia dan hewan, pestisida dapat mempunyai efek yang akut dan racun yang kronis. Komponen lipofilik dapat terakumulasi pada jaringan lemak (bio-konsentrasi) dan pada rantai makanan (bio-magnifikasi) (FAO, 1996).

Residu pestisida dapat ditemukan di sumber air melalui penggunaannya untuk pertanian, kehutanan, dan perikanan. Kumpulan kotoran dan pestisida dapat menyebabkan kontaminasi terhadap tanah dan air. Perikanan memperkenalkan penggunaan biosida, desinfektan, dan obat untuk digunakan pada air permukaan (FAO, 1996). Kegiatan pertanian, kehutanan dan perikanan darat telah menyebabkan pencemaran pada badan air dan menurunkan kualitas air di 6 sungai pada DAS Batanghari berupa: DO (2,9-8,5 mg L⁻¹), BOD (3,9-5,2 mg L⁻¹), COD (8,5-24,3 mg L⁻¹), NH₃ (0,01-2,2 mg L⁻¹), NO₂ (0,02-0,2 mg L⁻¹) dan Zn (0,01-0,08 mg L⁻¹), Fe (0,2-1,2 mg L⁻¹) serta Cu sesuai PPRI No 82 Tahun 2001 (Alwi *et al.*, 2012).

Dampak aktual dari kontaminasi pestisida pada air yang terdapat di bagian hilir seringkali sulit diukur. Pengawasan terhadap pestisida sulit dikarenakan konsentrasinya

yang sangat rendah sementara sampel yang diambil besar ditambah lagi pengambilan sampel yang harus hati-hati, dan memerlukan peralatan canggih (FAO, 1996). Sejak banyak pestisida yang dilarutkan dengan sejumlah zat tertentu, analisis air belum menghasilkan analisis yang lengkap. Untuk beberapa pestisida, kemampuan analisis terkadang tidak cukup akurat untuk mengetahui keberadaan atau ketidakhadiran perlindungan bagi kesehatan manusia. Pestisida yang lebih baru larut dan dapat terdegradasi lebih cepat hanya dapat dideteksi setelah aplikasi, sementara tipe program pengawasan dilakukan setiap bulan atau 4 bulan sekali dirasa tidak cukup untuk mengetahui kadar pestisida pada permukaan air (FAO, 1996).

Salinitas/Kadar Garam. Peningkatan kadar garam pada air permukaan dan air bawah tanah mempunyai pengaruh terhadap pengguna air di daerah hilir, sebagai contoh untuk irigasi dan suplai air domestik. Dampak penggunaan lahan terhadap kadar garam sangat tergantung pada iklim dan faktor geologi.

Irigasi dan drainase dapat meningkatkan kadar garam pada air permukaan dan air bawah tanah sebagai konsekuensi dari evaporasi dan pencucian garam dari tanah. Ini adalah kasus yang biasa terjadi di daerah arid, dimana drainase permukaan selalu mempunyai konsentrasi garam yang lebih tinggi, peningkatan rasio penyerapan Natrium yang lebih tinggi (FAO, 1997a). Drainase dari irigasi pertanian mungkin dapat meningkatkan konsentrasi Selenium pada tanah dan air permukaan. Pada daerah pantai, aliran air yang berasal dari daerah pertanian tidak memberi kontribusi langsung terhadap kadar garam pada sumber-sumber air. Air bawah tanah yang digunakan sebagai irigasi, kebutuhan rumah tangga dan industri merupakan hasil dari intrusi air laut ke lapisan akuifer, dan berdampak pada peningkatan kadar garam pada air bawah tanah tersebut (FAO, 1997). Penurunan aliran sungai karena abstraksi di hulu dan pembangunan reservoir dapat menyebabkan intrusi air payau pada daerah estuaria/ muara (FAO, 1995).

Logam Berat. Penggunaan lahan akan memberikan kontribusi langsung dan tidak langsung terhadap peningkatan kadar logam

berat pada sumber air. Pengaruh langsungnya adalah melalui limbah dari sisa tanaman yang mengandung konsentrasi logam berat yang tinggi. Sebagai contoh, peternakan babi terkadang mengandung konsentrasi tembaga yang tinggi (FAO, 1996). Penggunaan lahan pertanian dan perkebunan sawit di Sungai Batanghari telah menyebabkan penurunan kualitas air sungai mencapai kategori ringan sampai sedang oleh Fe, Mn dan Zn (Alwi *et al.*, 2012). Secara tidak langsung, penggunaan lahan berdampak terhadap konsentrasi logam berat di permukaan dan air bawah tanah melalui peningkatan mobilitas logam di tanah karena pengaruh manusia atau faktor geologi alami. Logam berat di tanah dapat berpindah ke air melalui proses erosi. Pengasaman tanah yang disebabkan oleh volatilisasi ammonia dari peternakan akan meningkatkan kelarutan logam berat di tanah juga meningkatkan influx menuju air permukaan dan air bawah tanah. Tingkat abstraksi air bawah tanah yang tinggi untuk irigasi dapat merusak kondisi kimia pada tanah dan berdampak pada peningkatan mobilitas logam berat. Hal ini menjadi alasan terjadinya peningkatan konsentrasi arsenic di Bangladesh.

Perubahan Regim Suhu. Regim suhu dari air permukaan dapat dipengaruhi oleh penggunaan lahan. Pada sungai kecil, penghilangan tanaman riparian dapat menyebabkan peningkatan suhu air (polusi suhu/thermal pollution). Demikian juga perubahan di daerah irigasi dapat mengakibatkan suhu meningkat pada sungai yang ada di bawahnya (FAO, 1997a). Peningkatan suhu berdampak pada penurunan jumlah oksigen terlarut, yang berdampak negatif terhadap aktivitas biologi di air dan berarti juga penurunan kemampuan membersihkan sungai.

Skala Spasial. Melihat pentingnya skala spasial, seperti: ukuran dari basin sungai/ DAS, dampak penggunaan lahan dapat menjadi kurang penting karena adanya efek keseimbangan (offset), seperti de-sinkronisasi (seperti pada kasus banjir), kapasitas penyimpanan dari dasar sungai (sedimentasi) atau kemampuan sungai membersihkannya dirinya sendiri atau self-cleaning capacity of the river (pencemaran organik). Sementara, dampak ini dapat juga menjadi lebih penting

dengan adanya peningkatan skala karena adanya efek akumulatif, seperti pada kasus penggaraman.

Penggunaan lahan dapat mengakibatkan perubahan regim hidrologi dan penurunan jumlah sedimen yang dapat ditampung sungai. Efek ini akan paling terasa pada DAS yang lebih kecil sampai kurang lebih ratusan km². Salah satu contoh kasus (Tabel 3) terjadi di DAS Wanggu 33,2 km² (33.208 ha) dengan erosi 934.827,7 ton th⁻¹, SDR 10%

menghasilkan sedimen 93.482,8 ton th⁻¹ dan DAS mikro yakni DAS Kambu 2,5 km² (2.531,2 ha) dengan erosi 71.255,0 ton th⁻¹, SDR 17,1% memberikan sedimen 12.182,8 ton th⁻¹ dan DAS mikro Lahundape 1,1 km² (1.058,7ha) dengan erosi 29.803,1 ton th⁻¹, SDR 20,5% menghasilkan sedimen 6.119,1 ton th⁻¹ (Alwi, 2012). Selanjutnya tabel tersebut menunjukkan bahwa makin kecil suatu DAS maka makin besar nilai SDR.

Tabel 3. Hasil prediksi erosi dan sedimentasi di 3 DAS mikro

Nama DAS	Luas (km ²)	Jenis Parameter	Tahun 2010
Wanggu	33,21	Erosi (ton th ⁻¹)	934.827,7
		SDR (%)	10,0
		S(ton th ⁻¹)	93.482,8
Kambu	2,53	Erosi (ton th ⁻¹)	71.255,0
		SDR (%)	17,1
		S(ton th ⁻¹)	12.182,8
Lahundape	1,06	Erosi (ton/th)	29.803,1
		SDR (%)	20,5
		S(ton th ⁻¹)	6.119,1

Keterangan: SDR = Sedement Deliver Ratio, S= Sedimen yang dihasilkan

Dengan melihat dampak terhadap kualitas lahan dan air memberikan gambaran menjadi lebih jelas. Observasi menunjukkan beberapa dampak penggunaan lahan terhadap kualitas air, seperti kadar garam dan jumlah pestisida dapat juga memiliki efek yang besar terhadap daerah hilir pada badan air skala menengah

sampai besar seperti yang terjadi di basin Murray-Darling (Australia) dan basin Colorado (USA/ Meksiko) (Calder, 1992). Efek pada daerah hilir lainnya seperti bahan organik dan patogen hanya berkaitan jika skalanya lebih kecil (Tabel 4).

Tabel 4. Dimensi spasial dari Dampak penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi DAS.

Dampak	Ukuran DAS (km ²)						
	0,1	1,0	10	100	1.000	10.000	100.000
Ratan aliran	X	X	X	X	-	-	-
Aliran puncak	X	X	X	X	-	-	-
Base flow	X	X	X	X	-	-	-
Perubahan air tanah	X	X	X	X	-	-	-
Muatan sedimen	X	X	X	X	-	-	-
Unsur hara	X	X	X	X	X	-	-
Bahan organik	X	X	X	X	-	-	-
Patogen	X	X	X	-	-	-	-
Salinitas	X	X	X	X	X	X	x
Pestisida	X	X	X	X	X	X	X
Logam berat	X	X	X	X	X	X	X
Regim termal	X	X	-	-	-	-	-

Keterangan: x = Dampak dapat diamati, - = Dampak tidak dapat diamati

Skala Temporal. Skala temporal adalah aspek lain yang juga penting terhadap dampak penggunaan lahan, seperti halnya berkaitan

dengan biaya ekonomis. Dua aspek dari skala temporal yang penting terhadap dampak penggunaan lahan. Pertama, waktu yang

diperlukan oleh penggunaan lahan sampai menimbulkan dampak bagi orang-orang di hilir dan kedua, meskipun telah menimbulkan dampak negatif namun waktu akan mengembalikan keadaan kembali seperti semula, dengan catatan dampak tersebut bersifat reversibel (dapat balik).

Skala temporal dari dampak penggunaan lahan sangatlah luas tergantung dari dampaknya. Skala ini berkisar antara kurang dari satu tahun, seperti kasus kontaminasi bakteri sampai ratusan tahun, seperti terjadi pada kasus kadar garam. Demikian juga dengan skala waktu yang diperlukan untuk perbaikan, sangat tergantung pada dampak itu sendiri. Meskipun demikian pada beberapa kasus waktu yang diperlukan untuk memulihkan kondisi lingkungan perairan setelah terkena dampak jauh lebih lama dibandingkan waktu kemunculan dampak tersebut (FAO, 1996).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan. Berdasarkan hasil kajian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Penurunan luas hutan di wilayah hulu suatu DAS sangat memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap kondisi hidrologi dan kualitas sumberdaya air di wilayah DAS.
2. Penggunaan lahan hutan kurang dari 30% luas DAS memberikan dampak terhadap peningkatan erosi, sedimentasi, run-off (RO), koefisien run-off (CRO), debit maksimum (Q_{max}), debit minimum (Q_{min}) serta ($Q_{max}:Q_{min} >30$).
3. Perubahan Penggunaan lahan hutan ke non hutan telah memberikan dampak negatif terhadap kualitas air sungai baik secara fisik (kekeruhan, warna, erosi dan sedimen), kimia (DO, BOD, COD, Fe, Mn dan Zn) maupun biologis (bakteri dan coliform) perairan. Sungai Wanggu Kendari dan Batanghari Jambi tercemar ringan sampai sedang, kecuali perairan Teluk Kendari tercemar berat.
4. Penggunaan lahan yang tidak didasarkan pada kelas kemampuan lahan dan penggunaan teknologi konservasi tanah dan air yang tidak tepat telah menimbulkan dampak negatif terhadap kondisi hidrologis DAS dan kualitas air sungai yang bersangkutan.

5. Alternatif model penggunaan lahan yang mampu memperbaiki kondisi hidrologi DAS dan kualitas sumberdaya air adalah hutan minimal 30% luas DAS, Agroforestri dan kebun campuran 44%, tegalan 8–10%, pemukiman, infrastruktur dan kawasan industri 16–20% luas DAS.

Saran. Perubahan penggunaan lahan dari hutan ke non hutan di wilayah hulu DAS harus memperhitungkan karakteristik lahan, karakteristik DAS dan teknologi yang diimplementasikan karena ketiga hal tersebut sangat berpengaruh terhadap kondisi hidrologis DAS dan kualitas sumberdaya air sungai. Perlu penelitian lebih lanjut tentang penentuan dampak perubahan penggunaan lahan hutan ke non hutan ketersediaan sumberdaya air dan kualitas air sungai serta penentuan sumber jenis dampak dari masing-masing penggunaan lahan. Perlu ada kebijakan dalam bentuk PERDA provinsi dan kabupaten/kota tegas dan jelas tentang penanganan penanggulangan dampak negatif yang ditimbulkan oleh aktivitas pembangunan di wilayah DAS lingkup antar kabupaten dan antar provinsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agenda 21, Indonesia 1997. Strategi Nasional Untuk Pembangunan Berkelanjutan. Kantor Kementerian Negara Lingkungan Hidup RI, Jakarta.
- Alwi L, Sinukaban N, Solahuddin S, Pawitan H. 2011. Kajian dampak dinamika penggunaan lahan terhadap erosi dan kondisi hidrologi DAS Wanggu. *Jurnal Hidrolitan* 2(2):
- Alwi L, Sinukaban N, Solahuddin S, Pawitan H. 2011. Kajian dampak perubahan penggunaan lahan terhadap degradasi lahan dan kondisi hidrologi DAS Wanggu. *Agriplus* 21.
- Alwi L. 2012. Kajian dampak dinamika penggunaan lahan di DAS Wanggu terhadap sedimentasi di Teluk Kendari [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Alwi L, Marwah T, Muskita W, Saad A, 2012. Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup (UKL) dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup (UPL). *Survei Seismik 3D Tempino*. PT. Pertamina EP Unit Bisnis EP Jambi.
- Anas I, Gulton T, Migge S. 2005. Soil microbial population and activity at different land use type. In: Stictentroth D, W. Lorenz, S.D. Tarigan, A. Malik (eds). *Proceedings International Symposium "The Stability of Tropical Rainforest Margins: Linking Ecological, Economic And*

- Social Constrains of Land Use And Conservation” 19-23 september 2005. Geor-August-University of Goettingen, Germany: Universitätsverlag Goettingen: 162.
- Bosch JM, Hewlett JD. 1982. A review of Catchment Experiments to Determine the Effects of Vegetation Changes on Water Yield and Evapotranspiration. *JHidrol.* 55: 3-23.
- Bruijnzeel LA. 1990. Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: a state of Knowledge review. UNESCO International Hydrological Programme, A Publication of the Humid Tropics Programme, UNESCO, Paris.
- Calder IR. 1992. The Hydrological Impact of Land Use Change (With Special Reference to Afforestation and Deforestation). P: 91-101, Dalam: Proceedings of the Conference on Priorities for Water Resources Allocation and Mangement Southampton, July 1992, Overseas Development Administration, London. ISBN: 090 2500 49X.
- Calder IR. 1998. Review Outline of Water Resource and Land Use Issue (IIMI) Swim Paper, Nc.3.
- Calder IR. 1999. The Blue Revolution, Land Use and Integrated Water Resources Management. Earthscan.
- Chomitz M, Khumari K. 1996. The domestic benefits of tropical forest a critical review. *The World Bank Research Observer*, 13(1): 13-35.
- FAO 1995. Water Sector Policy Review and Strategy Formulation. A General Framework. *FAO Land and Water Bulletin*. No. 3.
- FAO. 1996. Steps Towards A Participatory and Integrated Approach to Watershed Management. Report of the Inter-Regional Project for Participatory Upland Conservation and Development, GCP/INT/542/ITA, FAO/Italy Cooperative Programme. Tunis Written by Fe d’Ostiani, L. & Warren, P.(eds)
- FAO. 1998. Developing participatory and Integrated Watershed Management. A Case Study of the FAO/Italy Inter-Regional Project for Participatory Upland Conservation and Development (PUCD) Written by Warren, P. FAO Community Forestry Case Study Series, No. 13.
- Hall RL, Calder IR. 1993. Drop size modification by forest canopy—measurements using a disdrometer. *J Geophys. Res* 90: 465-470.
- Handayani IP. 2001. Comparison of soil quality in cultivated field and grassland. *Jurnal Tanah Trop.* 12: 135-1433.
- Kraemer A, Buck M. 1997. Water Subsidies and the Environment. Report OECD/ GD(97)220. Paris: OECD.
- Krairapanond N, Atkinson A. 1998. Watershed Management in Thailand: Concepts Problems and Implementation. *Regulated Rivers: Research and Management* 14: 485-498.
- Marwah S. 2000. Perencanaan sistem usahatani lahan kering dalam rangka mewujudkan pertanian berkelanjutan di DAS Wanggu Kendari, Sulawesi Tenggara. [Tesis] Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Marwah S. 2008. Optimalisasi pengelolaan sistem agroforestry untuk pembangunan pertanian berkelanjutan di DAS Konaweha Sulawesi Tenggara. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Murti Laksono K, Hidayat Y, G. Gerold, 2005. Consequence of rainforest conversion with different landuse types for soil erosion and surface runoff in Napu Catchment, Central Sulawesi. In: Stictentroth D., W. Lorenz, S.D. Tarigan, A. Malik (eds). Proceedings International Symposium “The stability of tropical rainforest margins: Linking ecological, economic and social constrains of landuse and conservation” 19-23 September, 2005. Georg-August-University of Goettingen, Germany: Universitätsverlag Goettingen: 127.