

Pengelolaan Daerah Tangkapan Air untuk Keberlanjutan Infrastruktur Sumber Daya Air: Studi Kasus di Wilayah Kerja Perusahaan Umum (Perum) Jasa Tirta I di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas dan Bengawan Solo

Oleh:

Raymond Valiant¹

Direktur Utama
Perusahaan Umum (Perum) Jasa Tirta I
Jalan Surabaya No 2A Malang 65115
raymond_valiant@jasatirta1.net

Ringkasan

Makalah ini membahas interaksi tanah dan air pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas dan Bengawan Solo di Pulau Jawa, yang merupakan wilayah kerja badan usaha milik negara (BUMN) pengelola sumber daya air, Perusahaan Umum (Perum) Jasa Tirta I. Berdasarkan kegiatan pengelolaan air yang selama ini dilakukan BUMN ini, interaksi kedua aspek ini telah dipengaruhi oleh aktifitas manusia (anthropogenic activities) yang menimbulkan dampak pada kualitas lahan dan keberadaan air permukaan.

Degradasi lahan dan air di kedua DAS tersebut telah diamati sejak lama, dan dipastikan merupakan akibat perubahan tata guna lahan, pemakaian tanah secara intensif (misalnya dalam bentuk kegiatan pertanian yang menguras zat hara) atau perubahan fungsi lahan yang melampaui kapasitas daya dukungnya. Kondisi semacam ini menyebabkan kemampuan infiltrasi tanah menurun, meningkatkan limpasan permukaan, dan akhirnya menambah kelajuan erosi tanah. Peningkatan kelajuan ini akhirnya menekan ketersediaan air tawar akibat akumulasi sedimen yang mengendap di sungai maupun di waduk, sehingga mengancam keberlanjutan fungsi dan manfaat dari infrastruktur sumber daya air (SDA) di dalam DAS tersebut.

Indikator penting dari degradasi lahan dan air yang ditemui pada daerah tangkapan air di bagian hulu dari kedua DAS ini adalah:

1. Fluktuasi limpasan permukaan terhadap curah hujan yang jatuh, di mana kawasan yang mengalami degradasi lahan mengalami penurunan kemampuan meresapkan air sehingga limpasan air permukaan meningkat. Hasil analisis yang membandingkan aliran masuk (inflow) Bendungan Sutami terhadap curah hujan yang jatuh di DAS Brantas Hulu menunjukkan pada tahun-tahun kering (1997 dan 2006) terjadi peningkatan nisbah limpasan permukaan sebesar 5%, sedangkan pada saat tahun basah (1993 dan 2001) peningkatan nisbah limpasan permukaan terjadi sebesar 11%.
2. Peningkatan laju erosi, di mana pada DAS Brantas Hulu secara teoritik telah mencapai 2,9 mm/tahun tidak berbeda jauh dengan analisis Kementerian

¹ Disampaikan pada Seminar Peringatan Hari Air Dunia 2017 "Watershed Management Dalam Pengembangan Sumber Daya Air Secara Berkesinambungan" Kementerian PUPR, 23 Maret 2017

PUPR (2005) sebesar 2,8 mm/tahun. Hasil perhitungan kembali oleh Perum Jasa Tirta I memakai metode Universal Soil Loss Equation (USLE), dengan data lahan dari satelit ASTER (2005) dan digital elevation map (DEM), memperoleh laju erosi teoritik di DAS Brantas Hulu pada tahun 2012 sebesar 3,9 mm/tahun. Peningkatan laju erosi ini bila dikombinasikan dengan variabilitas iklim, akan menimbulkan ancaman bagi keberlanjutan fungsi dan manfaat infrastruktur sumber daya air yang telah dibangun di dalam DAS tersebut.

3. Laju sedimentasi pada infrastruktur SDA yang telah dibangun yakni bendungan, telah mencapai kondisi mengkhawatirkan. Pengamatan pada Bendungan Sutami yang memiliki tampungan awal sebesar 343 juta m³ (1972) saat ini mengalami penurunan kapasitas tampungan waduk menjadi sebesar 187 juta m³ (54,6%), sedangkan Bendungan Wonogiri, tampungan awalnya sebesar 547 juta m³ (1982) saat ini mengalami penurunan menjadi sebesar 360 juta m³ (65,8%). Tanpa upaya pengelolaan daerah tangkapan air yang terintegrasi dengan kegiatan operasi dan pemeliharaan di waduk, usia ekonomis dari infrastruktur tersebut tersebut akan memendek.

Sebagai BUMN pengelola sumber daya air, Perum Jasa Tirta I telah memakai ekuitasnya untuk berbagai upaya konservasi maupun pengelolaan infrastruktur SDA guna menjamin layanan air di DAS Brantas dan Bengawan Solo. Perum Jasa Tirta I sampai akhir 2016 telah melaksanakan konservasi di lahan kritis sebanyak lebih dari 9 juta batang tanaman dan pembangunan lebih dari 600 unit bangunan sipil teknis (gully plug dan sediment traps). Selain itu, juga dilakukan pengerukan sedimen sebesar lebih dari 15 juta m³ selama hampir 20 tahun terakhir di waduk-waduk di kedua DAS tersebut.

Analisis kuantitatif menyimpulkan, meskipun berbagai kegiatan rehabilitasi lahan telah dilaksanakan secara masif, namun belum dapat dinyatakan telah mengendalikan degradasi lahan secara signifikan, erdasarkan indikator penilaian DAS yang dipergunakan. Faktor kunci yang sering menjadi kendala adalah kurangnya kolaborasi antar pihak terkait pengendalian degradasi lahan, sehingga kegiatan konservasi di daerah tangkapan air tidak berjalan secara tepat. Analisis kualitatif terhadap kebijakan publik menunjukkan perubahan tata ruang merupakan fungsi dari perkembangan ekonomi dan penduduk, yang mempengaruhi kualitas lahan dan ketersediaan air.

Disarankan dalam penanganan degradasi lahan di DAS Brantas dan Bengawan Solo – yang merupakan DAS kritis di Pulau Jawa – harus mengedepankan upaya integrasi (penyatuan) antar sektor terkait. Disarankan, seluruh pemilik kepentingan (pemerintah, pengelola SDA, organisasi non-pemerintah dan masyarakat) disatukan dalam visi, misi, interpretasi dan persepsi yang sama sehingga kerjasama dan pelibatan berbagai pemilik kepentingan dapat lebih memberi hasil nyata, khususnya dalam menjaga keberlanjutan fungsi dan manfaat infrastruktur SDA yang sudah dibangun.

Kata kunci: pengelolaan, degradasi lahan, daerah tangkapan air, infrastruktur sumber daya air

I. PENDAHULUAN

Kesatuan antara air dan tanah merupakan dasar perkembangan hidup hayati di muka bumi ini. Bila salah satu di antara kedua aspek itu berubah, atau mengalami gangguan, maka timbul persoalan bagi lingkup hayati (biosfer). Tidak saja pada tingkat dunia, ancaman terhadap kehidupan hayati yang berasal dari kerusakan pada air atau tanah juga terjadi di Indonesia, negeri khatulistiwa yang dikaruniai potensi alam yang berlimpah.

Degradasi lahan adalah suatu proses di mana kemampuan tanah pada suatu bidang lahan menurun atau berkurang (secara aktual maupun potensial) untuk memproduksi suatu barang ataupun jasa. Lahan yang telah terdegradasi cenderung mengalami **penurunan produktifitas** (Mawardi, 2012; Arsyad, 2013; Banuwa, 2013). Adapun degradasi air adalah suatu proses di mana air secara kuantitas dan kualitas mengalami perubahan terhadap waktu dan tempat yang menyebabkan **penurunan manfaat** (Oki & Kanae, 2006).

Degradasi lahan juga menjadi faktor yang membatasi produktifitas air dalam dunia pertanian (Barrow, 1991; Bossio *et al*, 2008; Falkenmark & Lannerstad, 2005).

Ancaman akibat degradasi lahan dan air ini dapat dikatakan bersifat global oleh karena mempengaruhi sejumlah besar umat manusia; diperkirakan sekitar 2,6 miliar penduduk menempati 33% luas lahan pertanian di dunia, akan terancam secara langsung oleh degradasi lahan (Adams & Eswaran, 2000).

Degradasi air merupakan salah satu persoalan yang melekat pada keterbatasan air itu sendiri. Seluruh kehidupan di bumi ini terkait erat dengan air. Lebih khusus lagi, sebagian kehidupan itu bertumpu (secara mutlak) pada air tawar. Padahal air tawar di bumi ini hanya sekitar 2,5% dari keseluruhan air yang ada dan dua-per-tiga darinya berada dalam bentuk es, salju, beku atau tersimpan di dalam tanah (Shiklomanov, 1997).

Dalam kenyataan, pertumbuhan penduduk menekan ketersediaan air tawar melalui desakan penyediaan air minum, pangan dan energi, selain kebutuhan untuk rupa-rupa pengolahan produk. Sebagai akibat tekanan ini, pengelolaan air tawar menjadi semakin penting – khususnya dalam mengatasi keterbatasannya terhadap waktu, ruang, jumlah dan mutu.

Dalam keterbatasan ini, air juga terancam oleh keberadaan manusia, baik akibat perubahan pada siklus hidrologi (Vörösmarty & Sahagian, 2000; Oki dan Kanae, 2006), limbah (rumah tangga, industri dan pertanian) yang dibuang ke perairan danau, waduk, rawa dan sungai-sungai di dunia (Vörösmarty *et al*, 2010), maupun emisi gas rumah kaca yang mendorong perubahan iklim global (Arnell, 2004; Kanae, 2009).

Makalah ini secara khusus akan meninjau pengelolaan DTA pada DAS Brantas dan DAS Bengawan Solo yang merupakan dua wilayah sungai yang memiliki peran strategis dalam meningkatkan kemanfaatan sumber daya air bagi masyarakat melalui berbagai infrastruktur sumber daya air yang telah dibangun di dalamnya. Kedua wilayah sungai itu juga sekaligus merupakan wilayah kerja dari Perusahaan Umum Jasa Tirta I (PJT-I) yang merupakan badan usaha milik negara (BUMN) pengelola sumberdaya air. Oleh karena kedua DAS ini berada di Pulau Jawa yang memiliki penduduk dalam jumlah besar, tingkat kerapatan pemanfaatan lahan yang tinggi, aktifitas vulkanik dan iklim yang mendukung maka tidak dapat dipungkiri Brantas dan Bengawan Solo mengalami tekanan pada ketersediaan lahan dan air. Karenanya, pengelolaan sumber daya air yang dilaksanakan di dalamnya harus dilakukan secara optimal, menyeluruh dan terintegrasi dengan sektor-sektor pendukung yang lain.

PJT-I sebagai pelaksana dari sebagian kegiatan dalam pengelolaan sumberdaya air pada prinsipnya mengelola air permukaan melalui operasi dan pemeliharaan dari berbagai prasarana pengairan berupa bendungan, bendung gerak, bendung karet dan pintu air, dengan tujuan melayani kebutuhan air berbagai sektor. Namun, sebagai pelaksana Peraturan Pemerintah pembentukannya, BUMN ini juga menyelenggarakan pengelolaan data hidrologi, pemantauan kualitas air dan kegiatan konservasi yang bertujuan pengelolaan Daerah Tangkapan Air (DTA).

Berdasarkan pengalaman PJT-I dalam mengelola air permukaan dan pengamatan akan berbagai perubahan pada lahan dan air dalam beberapa tahun terakhir ini diyakini DAS di Pulau Jawa berada dalam ancaman karena tindakan manusia atau yang disebut juga sebagai akibat antropomorfik (Sabiham, 2013; Arsyad, 2013). Memenuhi maksud melestarikan air permukaan dan lahan yang terkait, maka PJT-I berusaha lebih berperan sebagai mitra-strategis dalam pengelolaan DTA di dalam wilayah kerjanya.

1.1 Penurunan Produktifitas Lahan

Degradasi lahan memberikan pengaruh yang luas baik secara langsung maupun tidak langsung. Dampak dapat dirasakan dalam wujud semakin terbatasnya pemanfaatan lahan, makin tertekannya ketersediaan air permukaan dan air tanah, sehingga mempengaruhi perekonomian dari sektor pertanian secara keseluruhan.

Degradasi lahan kerap kali diakibatkan campur tangan manusia seperti: perubahan tata guna lahan (GLP, 2005; Tschakert & Dietrich, 2010), pengolahan tanah secara intensif dalam kegiatan bercocok-tanam atau pembukaan lahan yang menguras kandungan zat hara tanah secara berlebihan (Ravi *et al*, 2010). Dalam pengelolaan Daerah Tangkapan Air (DTA), kondisi ini akan mengurangi kemampuan infiltrasi dan meningkatkan laju erosi pada suatu DAS. Peningkatan laju erosi akan membahayakan ketersediaan air tawar akibat endapan sedimen di sungai maupun

di waduk, yang akhirnya mengancam keberlanjutan fungsi dari infrastruktur sumber daya air tersebut.

Degradasi lahan akan menurunkan luasan lahan yang subur, akibatnya produktivitas hasil pertanian juga akan terpengaruh. Jika produktivitas lahan turun maka muncul pola pertanian baru dengan memasukkan lebih banyak ikhtiar untuk meningkatkan hasil. Ikhtiar ini dapat berupa teknologi, bahan kimia, mineral tanah ataupun jenis bibit yang lebih toleran kondisi lahan saat sekarang.

Dalam kenyataan penambahan ikhtiar ini juga berpengaruh pada keadaan lingkungan, sebagai misal, diketahui penambahan pupuk anorganik secara berlebihan, menyebabkan residu fosfat dan nitrat berubah menjadi limbah yang mencemari perairan (PJT-I, 2004; Soekistijono, 2005) bahkan mendorong pelepasan gas rumah kaca yang mempercepat perubahan iklim (Quéré *et al.*, 2013).

Adapun degradasi lahan juga mendorong terjadinya perubahan manfaa lahan. Semakin menurunnya produktivitas lahan untuk kegiatan pertanian, akan mendorong alih fungsi lahan dari pertanian ke fungsi lainnya. Hal ini terjadi pada lahan-lahan yang dekat aglomerasi urban (Dardak, 2013).

1.2 Perubahan pada Tata Air

Tanah memainkan peran penting dalam daur hidrologi karena berfungsi sebagai penyerap presipitasi (hujan, embun maupun salju). Air yang diserap dalam keadaan tanah tidak jenuh air disebut infiltrasi. Bila tanah telah mencapai keadaan jenuh terjadi aliran air di dalam tanah akibat gaya gravitasi yang disebut perkolasi. Inilah yang menjadi aliran air tanah. Sebaliknya, air yang tidak terserap tanah akan mengalir di permukaan tanah melimpas di permukaan tanah atau *surface run-off* (Subramanya, 1999; Asdak, 2010; Mawardi, 2013).

Aliran air di permukaan dan di dalam tanah, sama-sama bergantung kepada tanah sebagai media penentu (*determinant media*). Gangguan terhadap tanah dalam bentuk degradasi lahan sangat mempengaruhi tata air secara keseluruhan (Li *et al.*, 2009; Ravi *et al.*, 2010), menurunkan produktifitas air dan tanah (Bossio *et al.*, 2008 dan 2010); menurunkan daya tangkap karbon (Trabucco *et al.*, 2008).

Beberapa dampak dari degradasi lahan terhadap tata air:

- Terjadinya kerusakan atau bahkan matinya sumber-sumber air, sebagai akibat dari menurunnya infiltrasi air dan terkurasnya akuifer (lapisan tak kedap air) di dalam tanah;
- Membesarnya perbandingan debit sungai di musim hujan terhadap debit di musim kemarau sebagai tanda berkurangnya aliran air tanah dan membesarnya limpasan permukaan;

- Erosi permukaan tanah (*sheet erosion*) dan erosi alur (*reel erosion*) cenderung membesar oleh karena aliran permukaan mengikis kolom tanah (*solum*) yang subur.

Menurunnya kualitas dan kuantitas air permukaan tidak dapat dipisahkan dari proses degradasi lahan dan dalam kenyataan merupakan satu kesatuan dengan erosi serta berkurangnya tutupan lahan.

1.3 Dampak pada Sosial Ekonomi Masyarakat

Proses degradasi lahan oleh tindakan manusia (antropomorfik) mempengaruhi kehidupan manusia baik secara langsung maupun tidak. Menurunnya tingkat kesuburan tanah menjadi penyebab kenaikan biaya produksi dan turunnya produktifitas pertanian, yang akhirnya berakibat kerugian pada petani.

Secara tidak langsung hal ini akan berdampak pada bertambahnya tingkat kemiskinan dan laju urbanisasi yang didorong oleh keinginan untuk memperoleh penghasilan yang lebih baik. Sementara itu, sebagai akibat dari penurunan produktifitas ini akan muncul berbagai konflik sosial, baik secara horizontal maupun vertikal (Rahim, 2003).

Hal ini dapat ditengarai dengan makin meluasnya kegiatan perekonomian masyarakat, khususnya dalam bentuk kegiatan pertanian, di daerah dataran tinggi (*up-land*) baik sebagai bentuk pemanfaatan kawasan hutan maupun daerah resapan air.

II. DESKRIPSI DAS BRANTAS DAN BENGAWAN SOLO

2.1 Gambaran Umum

Secara geologis, DAS Brantas maupun DAS Bengawan Solo berada pada sebuah formasi vulkanis yang ditandai rangkaian pegunungan berapi terbentang dari Jawa Tengah sampai Jawa Timur. Sebagai pembatas dari bagian utara dari kedua DAS ini terdapat zona Kendeng yang merupakan perlipatan yang membentuk perbukitan, sedangkan di selatan oleh zona Pegunungan Kapur.

Alur dari Sungai Brantas dan Bengawan Solo memiliki karakteristik khas. DAS kedua sungai ini berbentuk seperti daun (*leaf shape*) namun bila sungai utama diluruskan maka bentuknya menjadi akan memanjang (*long shape*). Alur sungai cenderung berkelok-kelok, khususnya di bagian hilir (*meandering*) namun sebagian telah diluruskan (*rectification*) sejak tahun 1980-an.

Iklim DAS Brantas dan Bengawan Solo bercorak muson tropis – sebagaimana halnya seluruh Pulau Jawa – ditandai musim hujan dari bulan Nopember sampai April tahun berikutnya dan musim kemarau dari Mei sampai Oktober. Kelembaban udara relatif tinggi di musim hujan, mencapai 60-80% dan rentang suhu udara sepanjang tahun berkisar antara rerata 26⁰ C sampai 32⁰ C.

2.1.1 DAS Brantas

DAS Brantas dianggap sebagai salah satu sungai penting di Pulau Jawa. Oleh karena memberi sumbangsih yang cukup besar pada pendapatan domestik regional bruto (PDRB) Provinsi Jawa Timur dan investasi yang ditanamkan Pemerintah Republik Indonesia dalam sarana-prasarana pengairan yang nilainya cukup besar, sehingga melalui Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 04/PRT/M/2015 tentang Kriteria dan Penetapan Wilayah Sungai, DAS Brantas ditetapkan sebagai salah satu sungai strategis nasional.

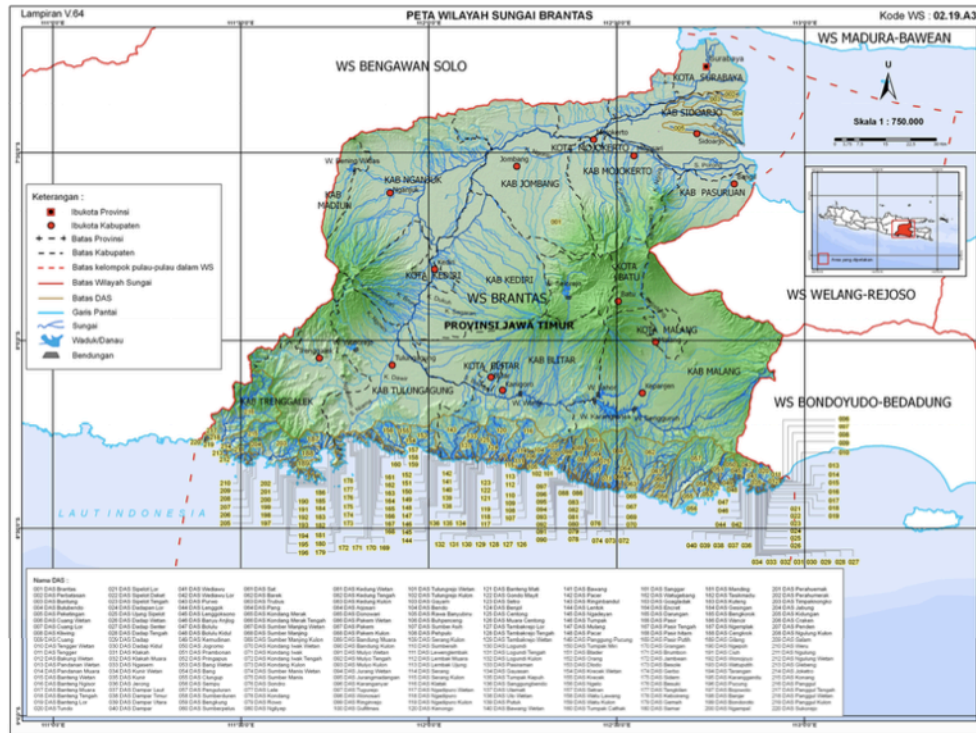
Sungai Brantas mengalir dari mata airnya di kompleks Pegunungan Arjuna-Anjasmara, yang berada pada ketinggian 1.547 meter di atas permukaan laut, menuju ke arah selatan, lalu ke barat dan akhirnya ke timur, searah jarum jam, sepanjang kurang lebih 320 km. Sepanjang alirannya sungai ini melewati sejumlah 14 kabupaten/kota, di mana ujung alirannya berada pada suatu delta yang dibatasi dua cabang anak sungai yakni Sungai Surabaya dan Sungai Porong (Sidoarjo).

Luas DAS Brantas seluruhnya sekitar 11.800 km² atau 1/4 luas Provinsi Jawa Timur. Secara topografis, bentuk DAS-nya memanjang namun karena sungai utama ini mengalir searah jarum jam maka terlihat seperti trapesium. Masing-masing memiliki karakteristik geologi, topografi, pedologi dan sosial ekonomi masyarakat yang berbeda.

Curah hujan merata di Wilayah Sungai Brantas diketahui kurang lebih sebesar 1994 mm/tahun. Neraca air di DAS Brantas menunjukkan dari potensi air tersebut sekitar sekitar 1.653 mm/tahun atau sekitar 19,84 miliar m³/tahun menjadi aliran permukaan. Dari aliran sebesar ini hanya 4,4 miliar m³ yang dimanfaatkan untuk keperluan manusia (bercocok tanam, industri dan domestik) melalui prasarana pengairan yang sudah terbangun.

Debit terbesar yang pernah terekam di Brantas Hulu adalah 889,41 m³/detik pada 26 Desember 2007 (aliran masuk ke Bendungan Sutami) dan di Brantas Hilir adalah 1.875 m³/detik pada 2 Maret 2017 (di Sta. AWLR Kali Porong).

Pemerintah Hindia Belanda pada 1852 melakukan pengembangan modern di bidang sumberdaya air, dengan pertama-tama mengatur aliran yang selama ini masuk ke Sungai Surabaya melalui Pintu Air Mlirip dan membangun Bendung Gerak Lengkong untuk mengatur tinggi muka air Brantas di bagian hilir. Bersama dengan itu pada 1858 dibangun Daerah Irigasi (DI) Delta Brantas untuk pertanian padi dan tebu, yang dilanjutkan dengan pengembangan sejumlah jaringan irigasi lain di bagian hulu Sungai Brantas, seperti DI Molek dan Metro yang terletak di Kabupaten Malang, maupun di bagian tengah, yakni DI Warujayeng dan Turi-Tunggarana yang mengambil air dari Sungai Brantas.



Gambar 1: DAS Brantas (11.800 km²)

Pengembangan lebih lanjut dari prasarana pengairan di DAS Brantas dimulai kembali oleh Republik Indonesia, dengan pembangunan Terowong Neyama di Kabupaten Tulungagung yang membebaskan Rawa Campurdarat seluas 16.000 ha dari genangan, melalui bantuan Pemerintah Jepang.

Pengembangan prasarana sumberdaya air di DAS Brantas melalui dana pampasan perang Jepang dilakukan berlandaskan rencana induk pertama (1961) berlandaskan prinsip: satu sungai, satu rencana terpadu, satu manajemen terkoordinasi. Pengembangan sumberdaya air di DAS Brantas dilaksanakan berdasarkan sejumlah rencana induk (*master plan*) yang disusun secara bertahap dan ditinjau kembali secara berkala untuk disesuaikan dengan program nasional dan perkembangan kebutuhan sumberdaya air di wilayah sungai Brantas.

Berdasarkan rencana induk pertama (1961), kedua (1974) dan ketiga (1985), berbagai prasarana pengairan telah dibangun. Pertama-tama, ada sejumlah bendungan di ruas hulu sungai ini yang berfungsi untuk menampung banjir, menyimpan air dan membangkitkan energi listrik, yakni: Bendungan Sengguruh, Sutami, Lahor, Wlingi, Selorejo, Bening dan Wonorejo.

Kemudian, pada ruas tengah Sungai Brantas dibangun berbagai bendung yang berfungsi sebagai pengatur alokasi air dan pengambil air permukaan untuk irigasi maupun pengguna lainnya. Beberapa bendung yang telah dibangun adalah Bendung Gerak Ladaya, Mrican, Lengkong Baru, Segawe, Tiudan, serta Bendung Karet Menturus dan Jatimlerek.

Terakhir, pada ruas hilir dari Sungai Brantas dibangun sejumlah bendung yang berfungsi mengendalikan elevasi dasar sungai, mengatur pelepasan debit pada saat terjadi banjir dan menahan intrusi air laut, yakni Bendung Karet Gubeng, Bendung Gerak Lengkong Baru dan Gunungsari serta Pintu Air Mlirip, Jagir dan Wonokromo.

2.1.2 DAS Bengawan Solo

Sungai Bengawan Solo memiliki panjang kurang lebih 600 km mengalir dari Kabupaten Wonogiri di Provinsi Jawa Tengah ke arah utara hingga bermuara di Tanjungkepala (Ujungpangkah), Kabupaten Gresik di Provinsi Jawa Timur. Luas seluruh daerah aliran sungai (DAS) Bengawan Solo 16.100 km² yang dibagi ke dalam tiga Sub DAS, yakni Solo Hulu 6.072 km², Solo Hilir 6.273 km² dan Kali Madiun 3.755 km².

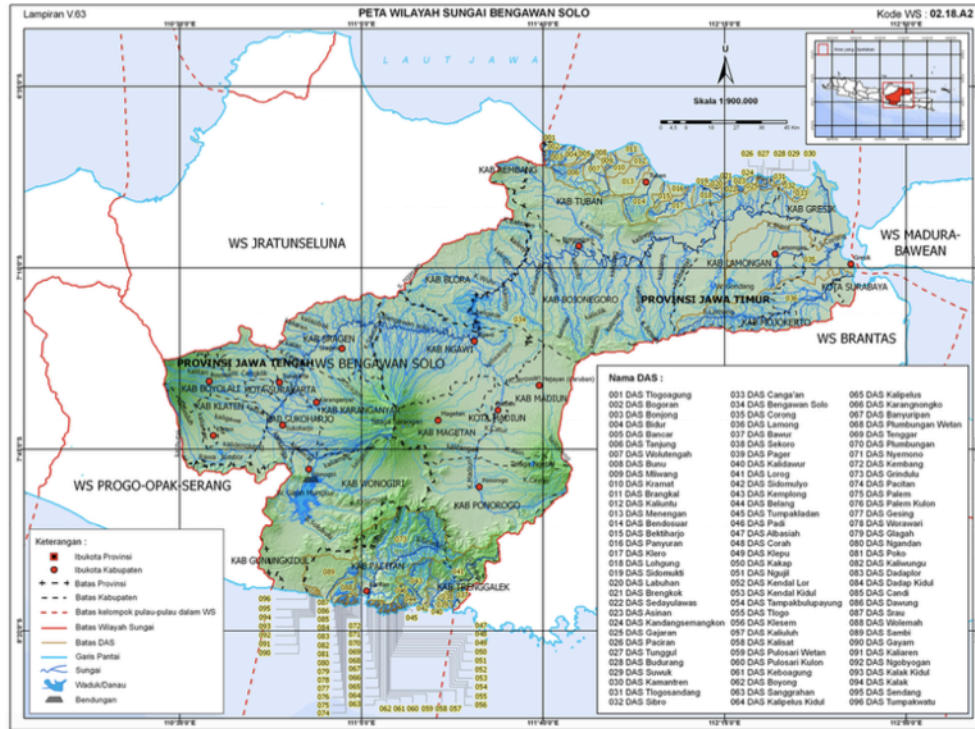
Secara geografis DAS Bengawan Solo terletak di lereng timur dari Gunung Merapi dan Merbabu, lereng barat dari Pegunungan Kapur Utara, lereng timur/tenggara dari Pegunungan Rembang dan lereng barat/utara dari Pegunungan Kendeng. Secara administrasi pemerintahan, DAS Bengawan Solo melintasi dua provinsi, mencakup 7 Kabupaten dan 1 Kota di Provinsi Jawa Tengah serta 9 Kabupaten di Jawa Timur.

Mempertimbangkan kedudukan Sungai Bengawan Solo maka melalui Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 04/PRT/M/2015 sungai ini ditetapkan sebagai lintas provinsi.

Curah hujan rerata di DAS Bengawan Solo berkisar 1.700 mm/tahun, walau demikian sebarannya tidak merata. Curah hujan tertinggi terekam adalah 278 mm pada tanggal 25 Desember 2007 di Jatisrono, Kabupaten Wonogiri.

Neraca air di DAS Bengawan Solo menunjukkan dari potensi air tersebut sekitar sekitar 1.396 mm/tahun atau sekitar 21,70 miliar m³/tahun menjadi aliran permukaan. Dari aliran sebesar ini hanya 1,48 miliar m³ dimanfaatkan untuk keperluan manusia (bercocok tanam, industri dan domestik) melalui prasarana pengairan yang sudah terbangun.

Debit terbesar di Bengawan Solo Hulu adalah 1.990 m³/detik pada tanggal 26 Desember 2007 (di Jurug Kota Surakarta), Bengawan Solo Hilir adalah 2.400 m³/detik pada 29 Desember 2007 (di Bojonegoro) dan di Kali Madiun adalah 1.421 m³/detik pada 26 Desember 2007 (di Mangunharjo, Madiun).



Gambar 2: DAS Bengawan Solo (16.000 km²)

Menilik sekilas pemanfaatan lahan di DAS Bengawan Solo, sebagian besar sudah merupakan kawasan terbuka, yakni untuk lahan pertanian (47,3%), pekarangan dan pemukiman (32,4%), sementara hanya sebagian kecil saja masih berwujud tutupan hutan (19,5%).

Kondisi sungai Bengawan Solo Hilir memiliki keunikan, berupa alur yang lebar dengan kemiringan kecil/landai, melalui dataran hasil pengendapan (*alluvial*) dan menjadi daerah yang sering digenangi banjir. Semakin ke arah muara sungai ini diapit beberapa daerah yang lebih rendah (*depression zone*) yang merupakan rawa atau paya, seperti Rawa Jabung (luas 5.450 ha), Rawa Semando (1.661 ha) dan Bengawan Jero (10.951 ha).

Pemerintah Hindia Belanda pada 1852 pertama-tama mengembangkan bagian hilir Sungai Bengawan Solo setelah melihat luas dan suburnya lahan pertanian yang dapat dibuka di lembah itu. Departemen Pekerjaan Umum (Burgerlijke Openbare Werkingen disingkat BOW) mempersiapkan konsep awal pengembangan DAS Bengawan Solo, dengan membendung Kali Pacal – salah satu anak Bengawan Solo – untuk membangun suatu sistem irigasi di bagian hilir sungai ini. Rencana ini ditinjau ulang pada 1870 dan pada 1881 disusun rencana oleh BOW berupa sebuah mega proyek yang dikenal dengan nama Solo Valleiwerken. Rencana mencakup perbaikan muara Bengawan Solo sehingga sungai itu mengalir ke Laut Jawa di sekitar Ujungpangkah (Tanjungkepala), pembuatan saluran pengendali banjir (*floodway*) di Pelangwot yang mengalir ke utara menuju Laut Jawa di dekat Sedayulawas.

Proyek ini selanjutnya bermaksud membangun daerah irigasi seluas 223.000 *bouw* (setara 158.000 hektar) dihentikan pada 1898 dan sebagai gantinya dibangun sejumlah waduk kecil pada anak-anak Bengawan Solo, seperti: Prijetan (selesai 1917) di Lamongan, Bunder (1932) di Gresik dan Pacal (selesai 1933) di Bojonegoro, untuk pengembangan irigasi di bagian hilir dari sungai terpanjang di Jawa ini.

Pada 13-20 Maret 1966 terjadi banjir di Bengawan Solo yang menggenang 142.000 ha tanah pertanian dan permukiman serta menelan lebih dari 500 korban jiwa. Akibat dari banjir ini Pemerintah Republik Indonesia mulai memberikan perhatian untuk mengendalikan banjir dan mengelola potensi air yang tersedia di sungai tersebut.

Setelah pembangunan tanggul negara untuk melindungi Kota Solo selesai (1972) maka disusunlah rencana induk pengembangan wilayah sungai (WS) Bengawan Solo dengan bantuan Overseas Technical Cooperation Agency (OTCA) dari Pemerintah Jepang (1974).

Salah satu hasil utama dari rencana induk pertama ini adalah penyelesaian Bendungan Wonogiri (1982), Bendung Gerak Babat (2003) dan pembuatan saluran pengendali banjir di Pelangwot-Sedayulawas (2005). Rencana induk ini lalu ditindaklanjuti berturut-turut dengan sejumlah kegiatan di Bengawan Solo berupa perbaikan bagian hulu dari Bengawan Solo (1994), perbaikan khusus Kali Madiun (1995) dan bagian hilir dari Bengawan Solo (2001 sampai sekarang)

Sementara itu pada 2001, rencana induk pengembangan WS Bengawan Solo ditinjau kembali melalui bantuan Japan International Cooperation Agency (JICA). Rencana induk kedua ini merupakan penyempurnaan untuk memperbaiki rencana yang tidak dapat diselesaikan pada rencana pertama, termasuk di dalamnya ketidakmampuan membangun Bendungan Jipang – yang semula diharapkan dapat dipakai mengendalikan banjir di bagian hilir Bengawan Solo.

Pada tahun itu pula, Perum Jasa Tirta I diberi kewenangan oleh Pemerintah Republik Indonesia melalui Keputusan Presiden No. 129 tahun 2000 tanggal 14 September 2000 untuk mengelola sejumlah prasarana-sarana pengairan di Bengawan Solo.

2.2 Permasalahan Sumberdaya di DAS

2.2.1 Perubahan Tata Ruang dan Degradasi Lahan

Perubahan tata guna lahan telah diketahui terjadi di DAS Brantas dan Bengawan Solo sejak lama dan bersumber dari kegiatan manusia (PU, 2005 dan PU, 2001). Beberapa analisis terhadap DAS Brantas Hulu misalnya telah menunjukkan timbulnya perubahan tata guna lahan yang mendorong ke arah degradasi lahan (BPDAS, 2003a; 2003b; dan 2003c).

Oleh karena aspek geologi dan litologi (bebatuan permukaan) yang cenderung vulkanis, maka DAS Brantas dan Bengawan Solo memiliki corak pedologis yang unik. Proses erosi dan disposisi lapukan vulkanik menyiptakan *cluster* tanah dengan berbagai keragaman kesuburan. Bagian tengah dan hilir dari kedua DAS ini berwujud dataran aluvial hasil pengendapan material vulkanis, yang membentuk dataran (delta) pada kawasan yang dipengaruhi pasang-surut laut.

Sesuai persebaran curah hujan, jenis tanah, kelerengan dan tata guna lahan, maka erosi di kedua DAS ini bervariasi secara ruang dan waktu. Sebagai contoh, diketahui tingkat erosi teoritik di DAS Brantas Hulu telah mencapai 2,9 mm/tahun (BPDAS, 2003a, 2003b dan 2003c), tidak berbeda jauh dengan analisis PU (2005) sebesar 2,8 mm/tahun.

Memperhatikan laju erosi, semakin dapat dipahami perubahan kondisi tutupan lahan merupakan fenomena kolektif pendorong degradasi lahan pada berbagai bagian DAS. Salah satu indikator dari perubahan tata guna lahan adalah luas tutupan hutan. Contoh diberikan pada Tabel 1 untuk DAS Brantas Hulu di mana tampak perubahan luasan hutan berkurang secara signifikan akibat aktifitas manusia (antropomorfik).

Tabel 1: Data luasan hutan di DAS Brantas Hulu

Tahun	Luas	
	km ²	%
1941	530	26
1951	398	19
1994	256	12
2005	242	12

Catatan: penurunan drastik dari luasan hutan di DAS Brantas Hulu disebabkan letusan Gunung Kelud pada 31 Agustus 1951

Sumber: Nippon Koei (1961) dan PU (2005)

Berbagai program dan gerakan untuk merehabilitasi lahan dan hutan telah dilakukan di DAS Brantas. Bersama-sama dengan pemerintah pusat dan daerah, kegiatan konservasi ini juga melibatkan Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Brantas (Kementerian Kehutanan), Balai Besar Wilayah Sungai Brantas (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat) dan Perum Jasa Tirta I sebagai badan usaha milik negara (BUMN) yang menjadi pengelola sumberdaya air di DAS tersebut. Namun secara keseluruhan masih perlu ditinjau keberhasilan dari gerakan rehabilitasi dimaksud.

2.2.2 Persaingan (Kompetisi) Air Permukaan

Neraca air di DAS Brantas dan Bengawan Solo menunjukkan potensi air permukaan sebesar 19,84 dan 21,7 miliar m³/tahun. Ketersediaan air di kedua DAS tersebut terkait dengan prasarana pengairan yang memberi layanan air. DAS Brantas memiliki 8 bendungan, 3 bendung gerak, 3 bendung karet dan 2 pintu air, sedangkan

di DAS Bengawan Solo terdapat 1 bendungan, 3 bendung gerak, 9 bendung karet dan 6 embung.

Untuk DAS Brantas air yang dapat dimanfaatkan sekitar 3,11 miliar m³ diserap oleh sektor pertanian, 1,31 miliar m³ terpakai untuk keperluan domestic, industri dan PDAM. Sementara di DAS Bengawan Solo, sekitar 1,3 miliar m³ air dipakai untuk pertanian, sedangkan sisanya sekitar 190 juta m³ dipergunakan untuk keperluan industri dan domestik.

Oleh karena kelengkapan infrastruktur pengairan di DAS Brantas, maka berkembanglah para pengguna air pokok di luar pertanian, yakni mencakup 8 pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan kapasitas terpasang setara 280,62 mW, 144 industri yang berizin aktif dan 28 titik pengambilan air baku untuk keperluan domestik yang berizin. Sedangkan di DAS Bengawan Solo terdapat 4 titik PLTA dengan kapasitas terpasang 20,5 MW.

Guna keperluan melayani berbagai penggunaan air tersebut, sejak 1990 telah didirikan Perum Jasa Tirta I sebagai BUMN yang bertindak sebagai operator penyediaan layanan air baku di Indonesia dengan wilayah kerja di DAS Brantas dan DAS Bengawan Solo.

Kondisi kuantitas air di DAS Brantas dan Bengawan Solo dipengaruhi oleh proses alokasi air yang melibatkan pengoperasian sejumlah besar bangunan prasarana pengairan, sedangkan kualitas air dipengaruhi oleh aktifitas manusia yang menimbulkan dampak pencemaran pada badan-badan air permukaan. Tanpa upaya pengendalian pemakaian (*demand management*) maupun pengendalian pasokan (*supply management*) maka kuantitas air di kedua DAS ini akan berada dalam keadaan kritis, karena secara teoritis kebutuhan air telah melampaui ketersediaan air dari sumber-sumber yang ada.

Pengendalian pasokan air (*supply management*) maupun pengendalian pemakaian air (*demand management*) merupakan upaya gabungan mengamankan layanan air permukaan di DAS Brantas dan DAS Bengawan Solo, yang semakin lama semakin banyak mengalami tekanan. Kegiatan pengendalian ini telah dikaji secara mendalam dan mencakup sejumlah kegiatan pengendalian yang terkait dengan berbagai sektoral.

Dalam kenyataan, efisiensi pengelolaan air kerap kali berhadapan dengan kesulitan teknis. Sedangkan upaya pengendalian dari sisi pasokan dengan menambah infrastruktur sumber daya air memerlukan investasi yang besar, karena pembangunan infrastruktur yang berujud bendungan memerlukan biaya konstruksi yang tinggi dan memiliki kendala sosial yang bersifat kompleks (seperti pembebasan lahan, relokasi dan lain sebagainya).

III. PEMBAHASAN DAMPAK DEGRADASI LAHAN DAN AIR

Degradasi lahan secara sistematis menjadi persoalan di DAS Brantas (BPDAS, 2003a; BPDAS, 2003b; BPDAS 2003c; Ruritan, 2014; BPDAS 2011) dan DAS Bengawan Solo (PU, 2001). Beberapa indikator dari degradasi lahan yang dapat diamati dan dianalisis sebagai berikut.

3.1 Perubahan Limpasan Permukaan

Kenaikan limpasan permukaan, sebagai akibat dari perubahan tutupan lahan yang akhirnya mempengaruhi sistem hidrologi. Limpasan permukaan adalah bagian dari air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah yang akhirnya masuk ke sungai, saluran, danau ataupun laut; merupakan bagian dari hujan yang tidak terserap tanah, tidak menggenang di permukaan tanah, dan tidak menguap tetapi bergerak ke tempat yang lebih rendah (Arsyad, 2010; Asdak, 2010). Besar kecilnya limpasan permukaan dipengaruhi oleh faktor presipitasi seperti intensitas, distribusi dan lamanya hujan, serta faktor DAS seperti ukuran, bentuk, topografi, geologi dan kondisi permukaan (Schwab *et al*, 1997; Subramanya, 1999; Asdak, 2010).

Intensitas hujan sangat erat kaitannya dengan energi kinetik hujan yang merupakan penyebab utama dalam penghancuran agregat tanah, struktur tanah lapisan atas, penurunan laju infiltrasi dan permeabilitas tanah (Banuwa, 2013). Musim hujan di DAS Brantas Hulu umumnya dimulai bulan Oktober dan berakhir di bulan Mei (PU, 2006).

Selanjutnya akan diberikan contoh mengenai fluktuasi dari limpasan permukaan sebagaimana diamati PJT-I pada bendungan-bendungan yang dikelolanya.

Limpasan permukaan dapat terpengaruh oleh adanya degradasi lahan. Semakin terdegradasi kondisi suatu lahan maka kemampuannya untuk meresapkan air kian turun (Rahim, 2003; Asdak, 2010; Banuwa, 2013) sehingga air yang melimpas dipermukaan semakin besar. Semakin membesarnya aliran permukaan akibat degradasi lahan dapat dilihat pada analisis yang dilakukan kepada DAS Brantas Hulu. Dengan membandingkan aliran masuk (*inflow*) Bendungan Sutami – yang merupakan titik akhir dari DAS Brantas Hulu – terhadap curah hujan yang jatuh di DAS Brantas Hulu maka dapat dilihat hasil analisis berikut.

Tabel 2: Perbandingan curah hujan dan limpasan permukaan DAS Brantas Hulu

Tahun	Keandalan	Limpasan Air	Curah Hujan	Nisbah
	%	mm	mm	%
		Tahun Basah		
1993	30	582	2.275	26
2001	50	643	2.098	31
		Tahun Kering		
1997	90	304	1.254	24
2006	80	608	1.737	35

Sumber: perhitungan (2013) data dari PJT-I



Gambar 3: Situasiutupan lahan di kawasan hulu DAS Brantas (2016)



Gambar 4: Situasiutupan lahan di kawasan hulu DAS Bengawan Solo (2016)

Dari berbagai tahun yang dipilih, dapat dilihat pada tahun 1993 dan 1997 nisbah limpasan permukaan masih berada pada kisaran 24-26% dari jumlah curah hujan yang turun di DAS Brantas Hulu. Sebaliknya, pada tahun 2001 dan 2006, nisbah limpasan permukaan terhadap curah hujan yang turun, naik dalam kisaran 31-35%. Kenaikan ini dapat mengindikasikan adanya degradasi lahan di DAS Brantas Hulu, di mana akibat berkurangnyautupan lahan dan semakin terkikisnya permukaan tanah maka sebagian hujan terlimpas.

Sementara itu, jika dibandingkan dalam keandalan secara statistik yang sama, dapat dilihat pada tahun yang kering (curah hujan kecil) limpasan permukaan yang terjadi juga bervariasi. Jika pada keandalan 90% dianggap sebagai tahun kering (1997) diperoleh limpasan permukaan sebesar 304 mm atau 24% dari hujan yang jatuh, maka pada tahun yang juga relatif kering (2006) diperoleh peningkatan limpasan menjadi sebesar 608 yang setara 35%. Hal ini menunjukkan perilaku pada tahun kering dari daerah aliran sungai yang berubah.

Sebaliknya pada tahun yang basah (curah hujan besar) diketahui pada keandalan 30% dan 50% yang masing-masing jatuh pada tahun 1993 dan 2001 diperoleh limpasan permukaan sebesar 582 mm dan 643 mm. Jika limpasan permukaan ini dibandingkan terhadap curah hujan yang jatuh maka nisbah limpasan akan bervariasi antara 26% dan 31%. Hal ini juga menunjukkan perubahan perilaku DAS pada tahun basah.

3.2. Perubahan Besaran Erosi

Laju erosi teoritik di DAS Brantas Hulu (2.050 km²) telah dihitung kembali untuk tahun 2007-2012 menggunakan rumusan Universal Soil Loss Equation (USLE) dengan data lahan dari satelit ASTER (2005). Data-data berkaitan dengan curah hujan dan kondisi topografi (*digital elevation map* atau (DEM) diperoleh dari PJT-I.

Tabel 3: Hasil perhitungan erosi lahan teoritik (USLE) untuk DAS Brantas Hulu

No	Nama Sub DAS	Segmen	Erosi Tahun 2007-2012			
			Luas km ²	ton ha ⁻¹ th ⁻¹	ton km ² th ⁻¹	mm tahun ⁻¹
1	Lesti	Lesti Hulu	288	3.276.760	11.382	4,4
		Genteng	116	633.398	5.483	2,1
		Lesti Hilir	180	728.361	4.037	1,6
2	Metro	Metro	361	2.333.213	6.470	2,5
3	Ambang	Brantas (Hulu)	435	5.982.328	13.743	5,3
		Amprong	349	5.749.108	16.476	6,4
		Bango	233	1.209.911	5.203	2,0
4	Lain-lain		89	887.269	9.992	3,9
		Jumlah	2.050	20.800.349	—	—
Rerata Tertimbang			—	—	11.382	3,9

Catatan: Perhitungan erosivitas hujan menggunakan persamaan Bols (1978)

Sumber: Perhitungan (2013) dengan koreksi data dari BPDAS (2007 dan 2011)

Perbandingan dengan kajian terdahulu menunjukkan adanya peningkatan nilai erosi, hal ini memberikan gambaran kondisi lahan di hulu DAS Brantas telah semakin mengkhawatirkan. Kenaikan erosi pada bagian hulu DAS ini cenderung membesar dan menunjukkan adanya peningkatan degradasi lahan secara signifikan. Hal ini disebabkan khususnya oleh perubahan tata guna lahan, berupa pembukaan hutan yang selama ini sebagai tempat resapan air. Bila dikombinasikan dengan variabilitas iklim, peningkatan laju erosi akan menimbulkan bahaya lain yang lebih besar.

Keadaan serupa juga terjadi untuk daerah tangkapan air Bendungan Wonogiri, yang juga mengalami dampak sedimentasi sebagai akibat angkutan erosi yang cukup besar. Data kajian hingga tahun 2015, tingkat potensi erosi di DAS Keduang sebesar 1,175 juta m³/tahun dan tingkat potensi erosi untuk DAS lainnya sebesar 1,948 juta m³/tahun sehingga total potensi erosi dari permukaan lahan untuk Wonogiri sebesar 3,2 juta m³/tahun.

Tabel 4 – Perkembangan Erosi Lahan di Hulu DAS Bengawan Solo

Tahun	Potensi sedimentasi lahan (m ³ tahun ⁻¹)		
	DAS Keduang	DAS Bengawan Solo	Total
1995	1.435.000	2.390.000	3.825.000
2000	1.774.000	2.350.000	4.124.000
2005	811.000	1.581.000	2.392.000
2010	2.519.726	—	—
2015	1.947.971	1.175.000	3.122.971

Sumber: PJT-I (2015)

3.3. Sedimentasi pada Badan Air

Akibat erosi yang cukup tinggi, muncul permasalahan di DAS Brantas dan Bengawan Solo, yakni meningkatnya sedimentasi pada badan air yang ada – khususnya pada bendungan. Sedimentasi diketahui sangat berpengaruh terhadap kinerja fungsi tampungan bendungan yang dibuat manusia dan merupakan salah satu penyebab utama dari hilangnya fungsi ekonomis bendungan di dunia (Palmieri *et al*, 2001; Morris, 2003).

Pengamatan pada waduk-waduk yang dikelola PJT-I di DAS Brantas Bengawan Solo, menunjukkan degradasi lahan berperan signifikan dalam penurunan kapasitas tampungan waduk.

Tabel 5: Perubahan Kapasitas Tampungan Waduk di DAS Brantas dan Bengawan Solo

Nama Waduk	Tampungan Awal		Tampungan Terkini (2016)	
	Tahun	Juta m ³	Juta m ³	%
Sengguruh	1968	21,5	0,8	4
Sutami	1972	343,0	187,2	55
Lahor	1977	36,1	32,1	89
Wlingi	1977	24,0	4,5	10
Lodoyo	1980	5,2	3,8	72
Selorejo	1970	62,3	32,1	52
Wonorejo	2000	122,0	106,0	87
Wonogiri	1980	560,0	395,8	71

Sumber: PJT-I (2016)

Berdasarkan telaah terhadap Bendungan Sutami di DAS Brantas dan Bendungan Wonogiri di DAS Bengawan Solo, berkurangnya kapasitas tampungan waduk dapat mempengaruhi alokasi air untuk pemenuhan irigasi, gangguan produksi PLTA, keterbatasan air baku pada musim kemarau serta kemampuan pengendalian banjir pada musim penghujan.

IV. ANALISIS

4.1 Analisis Kegiatan Pengelolaan Daerah Tangkapan Air

Pengelolaan Daerah Tangkapan Air lazimnya dilakukan dengan menutup permukaan tanah serapat mungkin menggunakan tajuk tanaman secara bertingkat maupun serasah di permukaan lahan, dengan tujuan memperbesar volume air yang diserap masuk ke dalam tanah sehingga aliran permukaan yang terjadi kecil dan dengan kekuatan yang tidak merusak (Banuwa, 2013).

Sebagai BUMN pengelola sumber daya air, Perum Jasa Tirta I telah memakai ekuitasnya untuk berbagai upaya konservasi maupun pengelolaan infrastruktur SDA guna menjamin keberlanjutan fungsi infrastruktur sumber daya air yang telah terbangun di DAS Brantas dan Bengawan Solo. Perum Jasa Tirta I sampai akhir

2016 telah melaksanakan konservasi di lahan kritis sebanyak lebih dari 9 juta batang tanaman dan pembangunan lebih dari 600 unit bangunan sipil teknis (*gully plug* dan *sediment traps*).

Rencana kegiatan vegetatif tahun 2012-2018 yang dibuat Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Timur mengacu pada proyeksi sasaran rencana rehabilitasi lahan yang tertuang pada Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai-Satuan Wilayah Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (RTK-RHL DAS-SWP DAS) Brantas. Contoh dari pelaksanaan kegiatan tersebut di DAS Brantas dapat dilihat pada

Tabel 6: Contoh rencana kegiatan vegetatif 2012 - 2018

No	Program Pemulihan Lahan	Sat	Kabupaten			
			Malang	Kediri	T. Agung	T. Galek
1.	Kawasan Lindung di luar Hutan					
	Agroforestry	ha	1.254	902	113	2.140
2.	Kawasan Budidaya					
	a. Kebun campuran	ha	13.837	9.576	2.591	9.613
	b. Hutan Rakyat	ha	1.075	—	6.065	8.628

Sumber: Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Timur

Adapun rencana tindak vegetatif lain, dilaksanakan oleh Balai Pengelolaan DAS (BPDAS) Brantas berdasarkan Rencana Tindak Pengelolaan DAS Brantas tahun 2012-2016 adalah sebagaimana pada

Tabel 7: Rencana tindak vegetatif pengelolaan DAS Brantas (2012-2016)

No.	Sub DAS	Luas tiap fungsi kawasan (Ha)			
		Hutan Lindung	Hutan Produksi	Tahura	Total
1	Brantas Hulu		654,1	609,0	1.263,1
2	Bambang				86,4
3	Lemon-Putung		842,0		842,0
4	Manten	71,0	20,1		91,1
5	Metro	8,8	162,2		171,0
6	Lesti Hulu	133,9	508,6		642,5
7	Ngrowo	3.878,0	18.794,4		22.672,4
8	Widas	1.193,6	4.193,5		5.387,1
9	Catut-Kedak	591,9	1.449,8		2.041,7
10	Jimbe		1.996,1		1.996,1
11	Lekso	112,3	219,0		331,3
12	Konto	152,5	603,4	86,0	841,9
13	Brangkal		1.233,2	1.810,7	3.043,9
14	Porong	12,4	496,7	78,8	587,9
	Total				39.998,4

Sumber: BPDAS Brantas

Berdasarkan data kegiatan pengelolaan DTA tersebut, tampak adanya sejumlah kekurangan yang berlangsung secara terus-menerus (*persistent*). Kekurangan di atas

terjadi baik pada skala sub DAS maupun DAS secara keseluruhan dapat mengurangi ketepatan kegiatan. Kekurangan yang diamati ini mencakup:

1. Kegiatan konservasi untuk memperbaiki lahan **belum dilaksanakan** secara terencana (*designated*), menyatu (*integrated*) dan terkoordinasi antar instansi.
2. Kegiatan penanaman pohon untuk mengurangi degradasi lahan masih dilakukan secara sporadis dan tidak tepat kawasan yang menjadi sasaran. Hal ini ditunjukkan oleh data tutupan lahan DAS Brantas (BPDAS, 2011) di mana secara umum memang terjadi penambahan luas tutupan pohon namun justru **di luar kawasan** yang direncanakan menjadi hutan. Secara umum, luas tutupan pohon di luar kawasan hutan di DAS Brantas naik 72,3% (2003 sampai 2011). Hal serupa juga diamati di DAS Brantas Hulu, di mana terjadi penambahan luas tutupan pohon pada lahan milik masyarakat yang justru disertai pengurangan luas tutupan pohon pada kawasan hutan sebesar 5% (2003 sampai 2011). Hal ini menunjukkan pengendalian degradasi lahan dengan penanaman pohon oleh masyarakat akhirnya menyebabkan kegiatan konservasi terjadi di kawasan non-hutan dan sebaliknya tidak meningkatkan luas tutupan pohon di kawasan hutan. Keadaan ini dapat berimplikasi bahwa sasaran lahan kritis **tidak dikonservasi secara optimal** karena kegiatan penanaman lebih dirancang untuk memenuhi program setempat.
3. Sebagian besar kegiatan konservasi di luar kawasan hutan menggunakan tanaman berkayu dari jenis sengon (*Albizia chinensis* Osb. Merr), jabon (*Neolamarckia cadamba* Roxb. Bosser) dan pinus/tusam (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vries). Meskipun ketiga jenis tanaman ini memiliki sebaran di kawasan Asia dan sesuai dengan keikliman tropis (dataran di bawah 1.800 meter di atas permukaan laut) namun masih diragukan apakah memperbesar serapan air oleh karena faktor fisiologis tanaman tersebut yang membuatnya memiliki evapotranspirasi yang tinggi. Selain itu, jenis tanaman tersebut juga dianggap tidak memiliki simpanan karbon yang memadai, yang disebabkan antara lain oleh ketebalan kambium dan sifatnya pohon yang dipanen kayunya dalam jangka pendek. Konservasi menggunakan tanaman jabon, sengon maupun pinus/tusam memang dilatarbelakangi manfaat ekonomi. Jabon dan pinus/tusam merupakan penghasil kayu dengan kekuatan kelas sedang sedangkan sengon kelas ringan. Analisis terhadap kegiatan konservasi yang dilakukan Perum Jasa Tirta I (2012-2015) misalnya, menunjukkan sekitar 40% tanaman konservasi yang ditanam bersama masyarakat adalah dari ketiga jenis di atas. Hal ini menunjukkan **motivasi ekonomi** masih lebih berpengaruh pada minat masyarakat melakukan konservasi dibandingkan tujuan pelestarian lahan.
4. Saat ini kegiatan konservasi di DAS Brantas dan Bengawan Solo memang sudah berjalan secara sistematis di bawah Gerakan Nasional Rehabilitasi

Hutan dan Lahan (GNRHL) sejak 2001 maupun Gerakan Kemitraan Nasional Penyelamatan Air (GNKPA) sejak 2004 namun penerapan lokasi belum konsisten dengan sasaran serta masing-masing instansi belum terikat dengan dokumen perencanaan yang menyatu serta evaluasi hasil yang menyeluruh.

Tekanan kependudukan secara praktis menyebabkan rehabilitasi lahan kritis bertentangan dengan upaya konversi lahan untuk keperluan permukiman dan pertanian. Jumlah penduduk di DAS Brantas yang tinggi – pada 2010 kepadatannya mencapai 1.360 jiwa per km² – menyebabkan terjadi **perebutan lahan subur** secara terus-menerus, yang akhirnya mempersulit upaya-upaya rehabilitasi lahan kritis. Kegiatan pengendalian degradasi lahan harus bersaing dengan perebutan lahan subur oleh berbagai pemilik kepentingan/unsur masyarakat.

4.2 Analisis Kegiatan Pengelolaan Infrastruktur Sumber Daya Air

Peningkatan laju erosi dari kawasan hulu secara langsung akan mengancam keberlanjutan fungsi dari infrastruktur SDA. Waduk-waduk yang berfungsi untuk menampung cadangan air untuk berbagai keperluan, mengalami penurunan kapasitas tampungan akibat sedimentasi yang terjadi. Untuk itu perlu adanya suatu kegiatan operasi dan pemeliharaan (O&P) infrastruktur yang memadai dan berkelanjutan untuk mengurangi dampak penurunan kapasitas tampungan waduk tersebut. Salah satu kegiatan O&P yang saat ini dilaksanakan adalah kegiatan pengerukan sedimen di waduk.

Pekerjaan pengerukan sedimen di telah dilaksanakan oleh PJT-I cukup besar, untuk DAS Brantas dalam 27 tahun terakhir mencapai 17,67 juta m³; yakni di Waduk Sengguruh (6,35 juta m³), Sutami (4,46 juta m³), Wlingi (4,57 juta m³), Lodoyo (0,47 juta m³) dan Selorejo (1,81 juta m³). Sedangkan untuk DAS Bengawan Solo di Waduk Wonogiri sejak 2011 mencapai 0,45 juta m³.

Selain pengerukan, juga dilakukan penggelontoran sedimen di Waduk Wlingi dan Lodoyo di DAS Brantas, yang umumnya dilaksanakan dua kali dalam setahun, terutama pada akhir musim hujan dengan cara terintegrasi pada dua waduk tersebut. Penggelontoran sedimen merupakan langkah yang efektif untuk mempertahankan kapasitas tampungan waduk dan sekaligus untuk mengurangi degradasi dasar sungai di bagian hilir Sungai Brantas. Sampai 2016, telah dilakukan penggelontoran sedimen di Waduk Wlingi sebesar 9,47 juta m³ dan Lodoyo 4,48 juta m³.

Kendala dari pengerukan waduk adalah penyediaan tempat-tempat pembuangan sedimen (*spoilbank*) yang sementara hampir penuh dengan sedimen hasil pengerukan sehingga diperlukan upaya pemindahan tanah mekanis (*hauling*) menuju lokasi lainnya setiap tahun. Biaya pembebasan lahan *spoilbank* yang meningkat juga menjadi salah satu kendala dalam pengerukan. Biaya per m² untuk

pembebasan lahan saat ini meningkat hingga 15 kali lipat jika dibandingkan dengan nilai biaya tahun 2001.

4.3 Analisis Kebijakan Pengendalian Degradasi Lahan dan Air

Permasalahan sosial ekonomi dan kelembagaan menjadi salah satu kendala dalam pengendalian degradasi lahan, pada tingkatan DAS Brantas. Ada dua aspek penting dari permasalahan sosial ekonomi ini, yakni: pola pengelolaan sumberdaya oleh masyarakat petani dan kerjasama kelembagaan dari pihak-pihak yang terlibat dalam pengendalian degradasi lahan.

4.3.1 Pengelolaan Sumberdaya Lahan dan Air

Pengendalian degradasi lahan tidak dapat dipisahkan dari pola pengelolaan sumberdaya alam yang dilakukan masyarakat di dalam DAS. Umumnya kawasan hulu dari suatu DAS lazim dimanfaatkan untuk keperluan pertanian, baik secara intensif maupun semi-intensif (perladangan). Dengan demikian, pengelolaan sumberdaya lahan – khususnya oleh para petani – memainkan peranan penting.

Beberapa aspek yang perlu dicermati dalam pola pengelolaan selama ini mencakup antara lain:

1. Strategi dalam mencari mata pencaharian, di mana sebagian besar petani saat ini berupaya untuk melawan involusi dengan menerapkan teknologi modern guna meningkatkan produktifitas dari usaha pertanian mereka. Dalam penerapan teknologi ini, petani mempergunakan lebih banyak pestisida-herbisida dan pupuk an-organik sebagai upaya untuk mengurangi risiko kegagalan panen dan mendorong pemanfaatan lahan melampaui batasan kemampuannya. Tentu saja, penggunaan berbagai bahan kimia dan an-organik ini memperbesar risiko degradasi lahan dan akhirnya juga mencemari tanah serta air.
2. Kemampuan, teknik dan strategi dalam pengelolaan lahan harus didorong untuk berkembang. Sebagian besar usaha pertanian tidak mengadopsi teknik dan strategi baru dalam pengelolaan lahan (PU, 2005; BPDAS, 2011). Sebagai contoh: pertanian komoditi *vegiculture* seperti sayur-mayur dan umbi-umbian di kawasan DAS Brantas Hulu sebagian besar tidak menerapkan sistem pematuan air yang benar sehingga memperbesar erosi permukaan akibat air hujan yang dibiarkan melimpas. Komoditi *vegiculture* yang peka terhadap genangan air hujan karena dapat menimbulkan pembusukan – tidak ditanam dengan teknik dan strategi sehingga degradasi lahan justru lebih cepat terjadi. Ketidakmauan menerapkan teknik dan strategi mengelola lahan melemahkan intensitas, interaksi dan sifat tanggap petani dalam menyikapi program pemerintah maupun organisasi non- pemerintah yang peduli pada pelestarian lahan. Salah satu contoh yang diharapkan memberi hasil adalah sistem

terasering sederhana (sabuk gunung) yang dikembangkan di daerah tangkapan air dari Bendungan Wonogiri.

3. Kepastian dalam identitas lahan berperan menentukan cara pengelolaan lahan dan sekaligus membedakan tipologi masyarakat petani dalam mengelola lahan. Pada umumnya lahan yang dimiliki petani di Jawa, termasuk di DAS Brantas dan Bengawan Solo, beragam dari segi ukuran dan identitas kepemilikan. Sebagian besar petani di Jawa adalah pekerja di lahan yang tidak dimiliki sendiri, baik disewa dari negara atau pribadi, melalui konsesi ataupun kontrak. Untuk wilayah hulu dari kedua DAS ini dapat ditelusuri bahwa identitas kepemilikan lahan berkaitan erat dengan produktifitas pertanian dan juga cara pengelolaan lahan. Sawah atau kebun yang dimiliki sendiri umumnya telah memiliki strategi pengelolaannya dalam jangka panjang sebab tidak ada keraguan dan kekhawatiran apapun dari petani dalam mengelolanya, selain hasilnya juga nantinya akan menjadi milik pribadi. Tidak demikian halnya dengan lahan yang disewa dari instansi atau pribadi lain. Sebagai penyewa, umumnya petani tidak memiliki komitmen mengelolanya secara lestari.
4. Nilai lokal yang dianut masyarakat juga berpengaruh pada pengelolaan lahan. Sifat solidaritas masyarakat termasuk di dalamnya azas resiprositas, gotong-royong, kode etik dan moral yang dianut petani di masing-masing desa mempengaruhi cara pengelolaan sumberdaya alam di sekitarnya. Keberhasilan dalam pengendalian degradasi lahan dipengaruhi pula oleh nilai-nilai lokal yang dianut masyarakat petani.
5. Kesejahteraan masyarakat petani juga menjadi faktor penting dari keberhasilan mengelola lahan secara lestari. Semakin sejahtera petani maka semakin besar kemungkinan mereka akan menerapkan metode pengolahan lahan yang lestari. BPDAS (2011) melaporkan bahwa berdasarkan *focus group discussion* di DAS Brantas Hulu diperoleh informasi petani yang sudah memenuhi kebutuhan fisik (subsisten) lebih terdorong untuk memanfaatkan lahan secara optimal dan lestari. Dengan demikian, dalam melakukan pengendalian degradasi lahan maka pemberdayaan ekonomi dari masyarakat petani harus menjadi salah satu pertimbangan kegiatan.

Dapat disimpulkan, pengendalian degradasi lahan tidak dapat dipisahkan dari aspek kemasyarakatan di dalam DAS, yang mencakup strategi dalam mencari mata pencaharian, perkembangan pengetahuan dalam mengelola lahan, aspek kepemilikan lahan, nilai-nilai lokal yang dianut, dan kesejahteraan dari masyarakat petani itu sendiri.

4.3.2 Kerjasama Kelembagaan

Berdasarkan pengamatan terhadap program dan rencana kerja pengendalian degradasi lahan (PU, 2005; BPDAS, 2007; BPDAS, 2011) salah satu permasalahan di DAS Brantas bersumber dari lemahnya koordinasi, tata kelembagaan dan teknis pelaksanaan kegiatan pengelolaan lahan. Kelemahan ini berkaitan dengan antara lain: penegakan hukum, sosialisasi program yang belum mantap dan kemampuan personil.

1. Kelembagaan yang mantap merupakan salah satu cara untuk menjamin agar program dan rencana kerja dalam pengendalian degradasi lahan dapat berjalan secara memadai dan berhasil. DAS Brantas dan Bengawan Solo memiliki sejumlah lembaga yang terlibat dalam pengelolaan lahan, seperti BPDAS (di bawah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan), Balai Besar Wilayah Sungai (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat), pemerintah provinsi dan kabupaten/kota, PJT-I serta berbagai organisasi non-pemerintah. Perbedaan visi, misi, interpretasi dan persepsi dari masing-masing lembaga tersebut menjadi kendala dalam menjalankan tugas mengelola lahan. Keberagaman visi, misi, interpretasi dan persepsi disebabkan masing-masing lembaga mempunyai muatan sektoral yang dominan sehingga meskipun masing-masing personil di dalam lembaga-lembaga tersebut memiliki kesadaran yang sama dalam pengelolaan lahan, masih terdapat suatu sekat sektoral yang menghambat sinkronisasi, harmonisasi dan koordinasi antar pihak.
2. Kebijakan pemerintah dalam pengelolaan sumberdaya lahan dapat menjadi sumber dari ketidakberhasilan mengendalikan degradasi lahan. Permasalahan yang bersumber dari aspek kebijakan, yang diterjemahkan dalam peraturan dan hukum, seringkali tidak bebas kepentingan, bahkan dalam beberapa kejadian sulit ditegakkan oleh karena tidak mendapat dukungan dari ketiga segmen (pemerintah, organisasi non-pemerintah dan masyarakat) yang terlibat dalam pengelolaan lahan. Analisis kebijakan di DAS Brantas dan Bengawan Solo menunjukkan tata ruang **dapat berubah** dengan cepat tanpa pemerintah berkesempatan mengendalikan perubahan itu secara efisien dan efektif. Salah satu kasus yang cukup menonjol adalah ekspansi pertanian dan industri pariwisata di DAS Brantas Hulu, yang malah mendorong perubahan fungsi lahan dari hutan/kawasan berhutan menjadi lahan terbuka. Ekspansi dari pertanian dan industri pariwisata ini didorong oleh kepentingan pemerintah setempat yang menghendaki pertumbuhan ekonomi dan peningkatan pendapatan daerah dari pajak serta retribusi yang bertalian dengan aktifitas ekonomi. Ketika ditempatkan dalam konteks pengelolaan lahan akhirnya munculnya dualisme yang dikotomis antara para pengelola hutan dan pemilik modal. Implikasi dari dualisme ini akhirnya menajam

dalam makin tak terkendalinya tata ruang dan makin merosotnya kualitas lahan yang terkena perubahan.

3. Kebijakan tentang tata guna lahan dan alih fungsi lahan banyak bergantung pada campur tangan negara dalam penguasaan dan penggunaan lahan. Kebijakan ini sebenarnya merupakan cerminan dari kepentingan negara untuk menguasai sumber daya sebagai upaya meningkatkan kemakmuran bersama. Namun pada kenyataannya kebijakan proteksi dan pemberian subsidi oleh pemerintah serta tingginya pertumbuhan sektor industri yang didukung dengan pemberian izin lokasi dan izin pembebasan mendorong terjadinya penurunan kualitas lahan dan memicu laju konversi lahan potensial. Dalam keadaan demikian, maka koordinasi antar segmen (pemerintah, organisasi non-pemerintah dan masyarakat) dengan melibatkan masing-masing lembaga menjadi relatif penting.
4. Lembaga yang terlibat dalam pengelolaan lahan di DAS Brantas sejauh ini sudah memiliki rencana pengendalian degradasi namun belum memiliki secara bersama-sama suatu kebijakan pencadangan lahan dan pengendalian lahan potensial yang didukung dengan sistem informasi lahan yang komprehensif, akurat dan memadai untuk pemantauan, perencanaan dan pengambilan keputusan (Haridjaja, 2013; Rustiadi & Wafda, 2013).

V. SIMPULAN DAN REKOMENDASI

1. Makalah ini telah membahas interaksi antara air dan tanah pada DAS Brantas dan Bengawan Solo, yang merupakan wilayah kerja dari BUMN pengelola sumberdaya air, yakni PJT-I. Berdasarkan pengamatan PJT-I selama ini interaksi antara kedua aspek ini bersama-sama secara antropomorfis telah menimbulkan dampak berupa perubahan pada kualitas lahan dan keberlanjutan fungsi infrastruktur SDA yang telah dibangun di dalamnya.
2. Degradasi lahan di DAS Brantas dan Bengawan Solo akan meningkat bilamana konservasi air dan lahan tidak dijalankan secara cermat, dengan indikatornya antara lain peningkatan laju erosi, perubahan prosentase limpasan permukaan terhadap curah hujan serta peningkatan sedimentasi pada infrastruktur SDA.
3. Dampak degradasi lahan di daerah hulu suatu DAS cukup besar khususnya pada keberlanjutan fungsi infrastruktur sumber daya air yang telah dibangun di dalamnya. Peningkatan angkutan sedimen di sungai dan penurunan tampungan di Bendungan Sutami maupun Wonogiri di DAS Brantas dan Bengawan Solo, yang secara signifikan akan memperpendek usia ekonomis kedua bendungan multi-guna ini dikelola oleh PJT-I.

4. Kegiatan rehabilitasi lahan telah dilaksanakan secara masif, namun belum dapat dinyatakan telah mengendalikan degradasi lahan secara signifikan, berdasarkan indikator penilaian DAS yang dipergunakan. Faktor kunci yang sering menjadi kendala adalah kurangnya kolaborasi antar pihak terkait pengendalian degradasi lahan, sehingga kegiatan konservasi di daerah tangkapan air tidak berjalan secara tepat
5. Disarankan dalam penanganan degradasi lahan di DAS Brantas dan Bengawan Solo – yang merupakan DAS kritis di Pulau Jawa – harus mengedepankan upaya integrasi (penyatuan) antar sektor terkait. Seluruh pemilik kepentingan (pemerintah, pengelola SDA, organisasi non-pemerintah dan masyarakat) harus disatukan dalam visi, misi, interpretasi dan persepsi yang sama sehingga kerjasama dan pelibatan berbagai pemilik kepentingan dapat lebih memberi hasil nyata, khususnya dalam menjaga keberlanjutan fungsi dan manfaat infrastruktur SDA yang sudah dibangun.

VI. PUSTAKA

- Adams, C. R., dan H. Eswaran. 2000. Global Land Resources in the Context of Food and Environmental Security. *Advances in Land Resources Management for the 20th Century* (penyunting S. P. Gawande). Soil Conservation Society of India, New Delhi, India: 35-50.
- Arnell, N. W., M. J. L. Livermore, S. Kovats, P. E. Levy, R. Nicholls, M. L. Parry, dan S. R. Gaffin. 2004. Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterizing the SRES storylines. *Global Environmental Change* 14: 3-20.
- Arsyad, S. 2013. Konservasi Tanah dan Air dalam Penyelamatan Sumberdaya Air. Penyelamatan Tanah, Air dan Lingkungan (penyunting: Sitanala Arsyad dan Ernan Rustiadi). Yayasan Pustaka Obor, Jakarta, Indonesia: 161-184. ISBN 978-979-461-702.1
- Asdak, C. 2010. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, Indonesia. ISBN 979-420-737-3.
- Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Brantas. 2003a. Rencana Teknik Lapangan (RTL) Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Sub DAS Lesti. Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Departemen Kehutanan, Indonesia.
- Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Brantas. 2003b. Rencana Teknik Lapangan (RTL) Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Sub DAS Melamon (Metro-Lahor-Lemon). Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Departemen Kehutanan, Indonesia.
- Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Brantas. 2003c. Rencana Teknik Lapangan (RTL) Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Sub DAS Ambang (Amprong-Bango). Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Departemen Kehutanan, Indonesia.
- Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Brantas. 2007. Statistik Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Brantas Tahun 2007. Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Departemen Kehutanan, Indonesia.
- Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Brantas. 2011. Rencana Pengelolaan Terpadu Daerah Aliran Sungai Brantas. Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Departemen Kehutanan, Indonesia.
- Banuwa, I. S. 2013. Erosi. Kencana Prenada Media, Jakarta, Indonesia. ISBN 978-602-7985-02-5
- Barrow, C.J. 1991. Land Degradation. Development and Breakdown of Terrestrial Enviroments. Cambridge University Press. Cambridge, Inggris.
- Bossio, D., A. Noble, D. Molden, dan V. Nangia. 2008. Land Degradation and Water Productivity in Agricultural Landscapes. *Conserving Land, Protecting Water* (penyunting: D. Bossio dan K. Geheb). CAB International, Oxfordshire, Inggris: 20-32.
- Bossio, D., K. Geheb, dan W. Critchley. 2010. Managing water by managing land: addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. *Agricultural Water Management* 97: 536-542.
- Dardak, A. H. 2013. Pemanfaatan Lahan Berbasis Rencana Tata Ruang sebagai Upaya Perwujudan Ruang Hidup yang Nyaman, Produktif dan Berkelanjutan. Penyelamatan Tanah, Air dan Lingkungan (penyunting: Sitanala Arsyad dan Ernan Rustiadi). Yayasan Pustaka Obor, Jakarta, Indonesia: 34-47. ISBN 978-979- 461-702.1
- Departemen Pekerjaan Umum (PU). 2001. Comprehensive Development and Management Plan Study for the Bengawan Solo River Basin under the Lower Solo River Improvement Project. Japan International Cooperation Agency (JICA). Final Report. Direktorat Jenderal Sumberdaya Air.
- Departemen Pekerjaan Umum (PU). 2005. Report on Engineering Studies for the Brantas River and the Bengawan Solo River Basins. Water Resources Existing Facilities Rehabilitation and Capacity Improvement Project (WREFR-CIP) JBIC Loan IP-510. Laporan Akhir. Direktorat Jenderal Sumberdaya Air.
- Departemen Pekerjaan Umum (PU). 2006. Pola Pengelolaan Wilayah Sungai (WS) Kali Brantas. Laporan Akhir, Direktorat Jenderal Sumberdaya Air, Indonesia.
- Falkenmark, M., dan Lannerstad, M. 2005. Consumptive water use to feed humanity – curing a blind spot. *Hydrology and Earth System Sciences* 9. Hlm. 15–28. DOI: 607-7938/hess/2005-9-15
- Global Land Project (GLP). 2005. Global land project: Science plan and implementation strategy. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19. IGBP, Stockholm, Swedia.

- Kanae, S. 2009. Global warming and the water crisis. *Journal of Health Science* 55(6): 860-864.
- Mawardi, M. 2012. *Rekayasa Konservasi Tanah dan Air*. Bursa Ilmu, Jakarta, Indonesia. ISBN 978-602-99035-7-7
- Morris, G. L. 2003. Reservoir Sedimentation Management: Worldwide Status and Prospects. *Proceedings of the 3rd World Water Forum, Challenges to the Sedimentation Management for Reservoir Sustainability*. Otsu, Shiga, Jepang: 97-108.
- Nippon Koei K. K. 1961. Brantas River Basin Plan. Main Report. Ministry of Public Works and Electricity of Indonesia. Jakarta, Indonesia.
- Oki, T. dan S. Kanae. 2006. Global hydrological cycles and world water resources. *Science* 313: 1068-1072. DOI: 10.1126/science.1128845
- Palmieri, A., F. Shah, dan A. Dinar. 2001. Economics of reservoir sedimentation and sustainable management of dams. *Journal of Environmental Management* 61: 149-163.
- Perusahaan Umum Jasa Tirta I (PJT-I). 2004. Monitoring Dinamika Komunitas Fitoplankton dan Zooplankton di Waduk Sutami. Laporan Internal [tidak dipublikasikan]
- Perusahaan Umum Jasa Tirta I (PJT-I). 2012. Kurva H-V Bendungan Sutami (Echo-Sounding). Laporan Internal [tidak dipublikasikan]
- Perusahaan Umum Jasa Tirta I (PJT-I). 2012. Kurva H-V Bendungan Wonogiri (Echo-Sounding). Laporan Internal [tidak dipublikasikan]
- Perusahaan Umum Jasa Tirta I (PJT-I). 2013. Evaluasi Pelaksanaan Perlindungan Daerah Aliran Sungai. Laporan Biro Internal [tidak dipublikasikan]
- Perusahaan Umum Jasa Tirta I (PJT-I). 2013. Roadmap Pengelolaan Sedimentasi di Daerah Aliran Sungai Brantas 2015-2019. Laporan Biro Internal [tidak dipublikasikan].
- Quéré, C. Le., G. Peters, R. Andres, R. Andrew, T. Boden, P. Ciais, P. Friedlingstein, R. Houghton, G. Marland, R. Moriarty, S. Sitch, P. Tans, A. Arneeth, A. Arvanitis, D. Bakker, L. Bopp, J. G. Canadell, Y. Chao, L. P. Chini, S. Doney, A. Harper, I. Harris, J. House, A. Jain, S. Jones, E. Kato, R. Keeling, K. Klein Goldewijk, A. Körtzinger, C. Koven, N. Lefèvre, A. Omar, T. Ono, G. H. Park, B. Pfeil, B. Poulter, M. Raupach, P. Regnier, C. Rödenbeck, S. Saito, J. Schwinger, J. Segsneider, B. Stocker, B. Tilbrook, S. van Heuven, N. Viovy, R. Wanninkhof, A. Wiltshire, C. Yue, S. Zaehle. 2013. Global carbon budget 2013. *Earth System Science Data Discussions* (in review). [diunduh dari: <http://www.earth-syst-sci-data-discuss.net/6/689/2013> pada 3 Desember 2013] DOI:10.5194/essdd-6-689-2013
- Rahim, S. E. 2003. *Pengendalian Erosi Tanah Dalam Rangka Pelestarian Lingkungan Hidup*. Penerbit Bumi Aksara, Jakarta, Indonesia. ISBN 979-526-340-4
- Ravi, S., D. D. Breshears, T. E. Huxman, dan P. D'Odorico. 2010. Land degradation in drylands: interaction among hydrologic-aerolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology* 116: 236-245.
- Ruritan, R.V. 2014. Pengelolaan Sumberdaya Air dan Lahan di Jawa: Studi Kasus di Wilayah Kerja Perusahaan Umum (Perum) Jasa Tirta I di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas dan Bengawan Solo. Seminar Nasional Pengelolaan DAS Terpadu untuk Kesejahteraan Masyarakat. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.
- Rustiadi, E dan R. Wafda. 2013. Urgensi Pengembangan Lahan Pertanian Pangan Abadi dalam Perspektif Ketahanan Pangan. *Penyelamatan Tanah, Air dan Lingkungan* (penyunting: Sitanala Arsyad dan Ernan Rustiadi). Yayasan Pustaka Obor, Jakarta, Indonesia: 1-16. ISBN 978-979-461-702-1
- Sabiham, S. 2013. *Manajemen Sumberdaya Lahan dalam Usaha Pertanian Berkelanjutan*. Penyelamatan Tanah, Air dan Lingkungan (penyunting: Sitanala Arsyad dan Ernan Rustiadi). Yayasan Pustaka Obor, Jakarta, Indonesia: 1-16. ISBN 978-979-461-702-1
- Schwab, G. O., D. D. Fangmeier, W. J. Elliot, dan R. K. Frevert. 1997. *Teknik Konservasi Tanah dan Air* (penerjemah R. H. Susanto dan R. H. Purnomo). Pusat Kajian Pengelolaan Tanah dan Air, Universitas Sriwijaya, Indralaya, Lampung, Indonesia.
- Shiklomanov, I. A. 1997. *Comprehensive Assessment of the Fresh Water Resources of the World*. World Meteorological Organization and Stockholm Environment Institute, Stockholm, Sweden
- Soekistijono. 2005. Pencemaran Air Waduk Tanggung Jawab Siapa? Kasus Studi: Waduk Sutami. Seminar Nasional Bendungan Besar, Komite Nasional Indonesia untuk Bendungan Besar (KNIBB), Jakarta, Indonesia.
- Subramanya, K. 1999. *Engineering Hydrology*. Tata Mc. Graw-Hill Publishers, New Delhi, India. ISBN 0-07- 462449-8.

- Trabucco, A., D. Bossio, dan O. Straten. 2008. Carbon Sequestration, Land Degradation and Water. *Conserving Land, Protecting Water* (penyunting: D. Bossio dan K. Geheb). CAB International, Oxfordshire, Inggris: 83-105.
- Tschakert, P., dan K. A. Dietrich. 2010. Anticipatory learning for climate change adaptation and resilience. *Ecology and Society* 12(2): 1-11.
- Vörösmarty, C. J. & D. Sahagian. 2000. Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle. *Biological Sciences* 50 (9): 753-765.
- Vörösmarty, C. J., P. Mc.Intyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S. E. Bunn, C. A. Sullivan & C. R. Liermann. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467: 555-561.

Terima kasih disampaikan kepada Sdr. Didik Ardianto, Sdr. Agung Wicaksono, Sdri. Nevi Hidayati dan Sdr. Teguh Winari dari Perum Jasa Tirta I yang telah membantu penyelesaian makalah ini.