

Kaji Cepat Hidrologi di Daerah Aliran Sungai Krueng Peusangan, NAD, Sumatra

Ni'matul Khasanah, Elok Mulyoutami, Andree Ekadinata, Tonni Asmawan, Lisa Tanika, Zuraida Said, Meine van Noordwijk, Beria Leimona

Southeast Asia

Kaji Cepat Hidrologi di Daerah Aliran Sungai Krueng Peusangan, NAD, Sumatra

Ni'matul Khasanah, Elok Mulyoutami, Andree Ekadinata,
Tonni Asmawan, Lisa Tanika, Zuraida Said, Meine van Noordwijk,
Beria Leimona

Working Paper nr 122



World Agroforestry Centre
TRANSFORMING LIVES AND LANDSCAPES

Correct citation:

Khasanah K, Mulyoutami E, Ekadinata A, Asmawan T, Tanika L, Said Z, van Noordwijk M, and Leimona B. 2010. Kaji Cepat Hidrologi di Daerah Aliran Sungai Krueng Peusangan, NAD, Sumatra. Working paper nr.122. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre.55p. DOI 10.5716/WP10337.PDF.

Titles in the Working Paper Series aim to disseminate interim results on agroforestry research and practices and stimulate feedback from the scientific community. Other publication series from the World Agroforestry Centre include: Agroforestry Perspectives, Technical Manuals and Occasional Papers.

Published by
World Agroforestry Centre
ICRAF Southeast Asia Regional Office
PO Box 161, Bogor 16001, Indonesia

Tel: +62 251 8625415
Fax: +62 251 8625416
Email: icraf-indonesia@cgiar.org
<http://www.worldagroforestrycentre.org/sea>

© World Agroforestry Centre 2010
Working Paper nr 122

Photos:

The views expressed in this publication are those of the author(s) and not necessarily those of the World Agroforestry Centre.

Articles appearing in this publication may be quoted or reproduced without charge, provided the source is acknowledged.

All images remain the sole property of their source and may not be used for any purpose without written permission of the source.

About the authors

Ni'matul Khasanah

Ni'matul Khasanah (Ni'ma) bergabung dengan ICRAF sejak 2002 and banyak terlibat dalam studi pemodelan berbagai macam sistem agroforestry menggunakan model Water, Nutrient and Light Capture in Agroforestry (WaNuLCAS). Ni'ma memperoleh gelar Master dibidang Agroklimatologi dari Institute Pertanian Bogor (IPB). Saat ini, Ni'ma terlibat dalam penelitian-penelitian dalam ruang lingkup manajemen sumber daya alam yang berkaitan dengan issue-issue perubahan iklim dan pengelolaan daerah aliran sungai. Alamat email: n.khasanah@cgiar.org

Elok Mulyoutami

Elok bergabung dengan ICRAF sejak 2003 dan banyak terlibat dalam studi-studi yang berhubungan dengan pengetahuan lokal serta sistem pertanian di Unit Agroforestry Management. Elok lahir di Bandung dan memperoleh gelar Sarjana Antropologinya dari Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Padjadjaran, Bandung, Jawa Barat. Saat ini, beliau terlibat dalam riset-riset mengenai perikehidupan masyarakat, sosial - ekonomi, jasa lingkungan and ekologi manusia. Alamat email: e.mulyoutami@cgiar.org.

Andree Ekadinata

Andree Ekadinata bekerja sebagai Spesialis Penginderaan Jauh di ICRAF SEA, titik berat dari bidang tugasnya adalah pengolahan data penginderaan jauh dan analisis spatial untuk manajemen sumberdaya alam termasuk didalamnya penilaian keanekaragaman hayati. Andree bergabung dengan ICRAF sejak 2001 sebagai mahasiswa dan berperan sebagai Spesialis Penginderaan Jauh hingga saat ini. Pengalaman yang dimilikinya meliputi interpretasi citra satelit di Asia Tenggara, Afrika, dan Amerika Latin, beserta aplikasinya dalam ruang lingkup manajemen sumber daya alam seperti mitigasi perubahan iklim, pengelolaan daerah aliran sungai dan perencanaan penggunaan lahan. Alamat email : A.Ekadinata@cgiar.org.

Tonni Asmawan

Tonni dilahirkan di Bogor, Jawa Barat, Indonesia pada tanggal 8 Desember 1981. Tonni lulus sebagai Sarjana Kehutanan dari Konservasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor (IPB) dan bergabung dengan ICRAF pada tahun 2007 sebagai junior scientist hydrology hingga saat ini. Tonni bekerja pada area pemantauan hidrologi, penilaian bentang lahan secara partisipatif, dan jasa lingkungan. Alamat email: T.Asmawan@cgiar.org.

Lisa Tanika

Lisa lahir di Semarang, Jawa Tengah tanggal 24 Desember 1983. Lisa adalah lulusan dari jurusan Matematika, Institut Pertanian Bogor (IPB) dan bergabung dengan ICRAF sejak Juni 2008 sebagai ecological modeller. Lisa banyak bekerja pada model hidrologi dan pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap kualitas DAS. Alamat email: L.Tanika@cgiar.org or lisa.tanika@yahoo.com.

Zuraida Said

Zuraidah lahir di Jakarta tanggal 10 September 1984. Zuraidah adalah Sarjana lulusan Ilmu Tanah, Institut Pertanian Bogor (IPB) dengan skripsi berjudul “Study of ASAR-Envisat Satellite Image Calibration Process for Biomass Application in Pelalawan Plantation Forest, Riau”. Zuraidah bergabung dengan ICRAF sejak Desember 2008 sebagai Asisten Riset untuk Remote Sensing dan GIS, dan bertanggung jawab dalam menyediakan data dan analisis spasial. Alamat email: Z.Said@cgiar.org

Meine van Noordwijk

Meine van Noordwijk adalah seorang ekologis yang bergabung dengan ICRAF SEA di Bogor sejak 1993 untuk mendukung Program ‘Alternatives to Slash and Burn Program’ (ASB), yang sekarang dikenal dengan ASB Partnership for the Tropical Forest Margins. Pada tahun 2002-2009, Meine menjabat sebagai Regional Koordinator untuk ICRAF SEA, dan saat ini beliau menjabat sebagai Chief Science Advisor. Meine memperoleh gelar Doktornya pada tahun 1987 dari Wageningen Agricultural University di Belanda. Alamat email: m.vannoordwijk@cgiar.org.

Beria Leimona

Beria Leimona bergabung dengan World Agroforestry Centre – Asia Tenggara sejak Januari 2002. Sekarang dia adalah koordinator program RUPES II (Reward for, Use of and shared investment in Pro-poor Environmental Services). Fokus utamanya adalah pada pengembangan imbal jasa lingkungan di Asia bekerjasama dengan organisasi donor internasional, pemerintah daerah, organisasi penelitian dan organisasi non pemerintah. Lei memperoleh gelar sarjana dan master Arsitektur Lanskap dari Institut Pertanian Bogor dan saat ini sedang melanjutkan studi doctoral di Universitas Wageningen, Belanda. Dia dapat dihubungi pada alamat l.beria@cgiar.org.

Ringkasan

Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Peusangan merupakan DAS dalam kategori terdegradasi prioritas utama menurut data Departemen Pekerjaan Umum dan Dinas Sumber Daya Air Provinsi Aceh. Dengan kata lain, DAS Krueng Peusangan telah mengalami degradasi yang sangat parah dan berada pada prioritas tinggi untuk segera diperbaiki kondisinya. Pemerintah provinsi Aceh mengembangkan rencana strategis (RenStra) pengelolaan DAS Krueng Peusangan secara terpadu dan berkelanjutan untuk mencegah degradasi lebih lanjut. Terkait dengan pengembangan rencana tersebut, World Wildlife Funds (WWF) bekerjasama dengan World Agroforestry Centre (ICRAF) South East Asia regional programme untuk melakukan kajian hidrologi secara menyeluruh berdasarkan perspektif berbagai pemangku kepentingan dengan menggunakan metode Kaji Cepat Hidrologi/*Rapid Hydrological Appraisal* (RHA).

Tujuan RHA adalah untuk menilai situasi hidrologi DAS berdasarkan perspektif berbagai pemangku kepentingan seperti pengetahuan ekologi masyarakat lokal (*local ecological knowledge/LEK*), pengetahuan ekologi pembuat keputusan (*policymakers ecological knowledge/PEK*) dan pengetahuan ekologi ahli hidrologi/peneliti (*hydrologist/modeler ecological knowledge/MEK*). Selanjutnya, rekomendasi hasil RHA digunakan untuk menyusun pendekatan skema imbal jasa lingkungan. Dalam kajian ini, implementasi RHA dilakukan melalui beberapa kegiatan:

Kajian dan eksplorasi pengetahuan ekologi masyarakat lokal dan pengetahuan ekologi pembuat keputusan dengan fokus pergerakan air; penyebab dan konsekuensi pemilihan/perubahan penggunaan lahan di suatu bentang lahan (*lansekap*) menurut sudut pandang berbagai pihak pemanfaat DAS Krueng Peusangan,

Pengumpulan dan analisa data iklim dan hidrologi DAS Krueng Peusangan,

Analisa data spasial untuk memperoleh pemahaman mengenai perubahan tutupan lahan dan karakteristik DAS,

Analisa pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap kesetimbangan air termasuk debit sungai DAS Krueng Peusangan menggunakan model GenRiver 2.0, dan

Analisa beberapa skenario perubahan tutupan lahan yang mungkin terjadi terhadap kesetimbangan air menggunakan model GenRiver 2.0.

DAS Krueng Peusangan merupakan DAS yang terletak di beberapa kabupaten yang tersusun oleh 11 sub-DAS dan Danau laut Tawar terletak di bagian hulu DAS. Curah hujan di DAS Krueng Peusangan dapat dikategorikan cukup tinggi 1848 – 2055 mm/thn. Etnis Gayo tinggal di sepanjang sungai dan di sekitar danau Laut Tawar dibagian hulu DAS Krueng Peusangan, sedangkan etnis Aceh tinggal di bagian tengah dan hilir DAS Krueng Peusangan. Etnis Gayo sebagian besar menanam padi dataran tinggi, kopi, coklat dan pinang baik sistem monokultur maupun sistem kebun campur, sedangkan etnis Aceh memancing dan menanam padi irigasi, kelapa, kelapa sawit dan kebun campur.

Hasil diskusi baik dengan masyarakat di hulu dan di hilir menunjukkan pentingnya peran sungai; namun demikian tipologi permasalahan DAS yang mereka hadapi relatif berbeda. Bagi masyarakat yang tinggal di bagian hulu DAS Krueng Peusangan, penurunan debit air, rendahnya kualitas air dan sedimentasi merupakan permasalahan utama. Sedangkan bagi masyarakat yang

tinggal di bagian tengah dan hilir, pengikisan tebing sungai (*abrasi*) dan banjir merupakan permasalahan utama yang menyebabkan terganggunya aktivitas perekonomian. Namun demikian, hasil kajian mengenai pengetahuan ekologi masyarakat menunjukkan bahwa masyarakat setempat mempunyai pengetahuan akan jenis pohon yang mampu mengurangi erosi dan menjaga kestabilan tebing sungai.

Hasil wawancara dengan para pembuat kebijakan di tingkat kabupaten dan provinsi menunjukkan pentingnya peranan DAS Krueng Peusangan dalam bidang ekonomi maupun ekologi. Dalam sudut pandang para pembuat kebijakan, abrasi, erosi, banjir dan sedimentasi merupakan permasalahan utama yang disebabkan oleh pembukaan hutan, pertambangan, dan kegiatan penggembalaan liar (*wild foraging*).

Hasil analisa perubahan tutupan lahan di DAS Krueng Peusangan dalam kurun waktu 1990 – 2009 menunjukkan berkurangnya luasan tutupan lahan hutan dan pinus. Pada sisi lain terjadi peningkatan luasan pemukiman, perkebunan kelapa sawit dan tutupan lahan lain seperti agroforestri kopi, dan sistem berbasis pohon baik sistem monokultur maupun kebun campur kompleks. Penurunan tutupan lahan berbasis pohon di DAS Krueng Peusangan dalam kurun waktu 20 tahun terakhir berdampak pada meningkatnya fraksi aliran air/debit sungai terhadap total curah hujan. Tingginya aliran air yang terjadi saat intensitas curah hujan tinggi menyebabkan tingginya aliran permukaan sehingga menyebabkan banjir, erosi tanah dan pengikisan tepian sungai (*abrasi tebing sungai*).

Untuk memahami pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap kesetimbangan air DAS Krueng Peusangan, kami melakukan kajian dengan menggunakan lima skenario dalam model GenRiver. Karakteristik skenario yang dikaji adalah: “kondisi yang ada saat ini (*business as usual*)” dengan laju penurunan tutupan lahan hutan sebesar empat persen; peningkatan skala kecil tutupan lahan berbasis pohon seperti peningkatan tutupan lahan kebun campur kompleks (*complex mixed tree crop*) dan hutan pinus; peningkatan skala besar tutupan lahan berbasis pohon seperti penghutanan kembali seluruh wilayah kecuali pemukiman.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kesetimbangan air di DAS Peusangan tidak berbeda secara nyata jika terjadi perubahan tutupan lahan dari sistem yang tidak berbasis pohon menjadi sistem berbasis pohon kompleks (*complex mixed tree crop*) (skenario 1); perubahan dari sistem hutan bekas tebangan menjadi hutan pinus (skenario 2); atau kombinasi keduanya (skenario 3). Hal ini terkait dengan kecilnya luasan yang perubahan (sekitar 10 – 15% dari total wilayah). Skenario penghutanan kembali seluruh wilayah yang tidak termasuk areal pemukiman (skenario 5) menunjukkan adanya peningkatan evapotranspirasi (50%) dan penurunan debit sungai (25%). Penghutanan kembali sebagian wilayah DAS dan perubahan sistem monokultur baik tanaman semusim maupun pohon menjadi sistem kebun campur kompleks (skenario 4) juga menunjukkan peningkatan evapotranspirasi dan penurunan debit sungai, walaupun tidak setinggi nilai yang didapatkan pada skenario 5. Peningkatan aliran air bawah tanah dalam jumlah kecil juga dijumpai pada skenario 4 dan 5. Hal ini menunjukkan adanya penundaan aliran air, tertundanya aliran air mencapai sungai akibat berkurangnya limpasan permukaan dan meningkatnya aliran air bawah tanah yang dalam hal ini tergantung pada tingkat perbaikan kondisi sifat fisik tanah.

Kajian ini memberikan gambaran dasar untuk pengembangan skema imbal jasa lingkungan (*rewards for environmental service schemes/RES*) di DAS Peusangan. Hal ini tercermin dari temuan studi dimana peningkatan luasan sistem berbasis pohon baik dalam bentuk hutan maupun

kebun campur kompleks dapat memperbaiki kesetimbangan air dalam DAS. Mengenali pengetahuan lokal merupakan elemen penting dalam penyusunan skema imbal jasa lingkungan. Pada konteks DAS Krueng Peusangan, pengetahuan lokal dapat memberikan kontribusi yang besar berupa pemilihan jenis-jenis pohon dan upaya pemecahan masalah hidrologi, yang dapat dilakukan misalnya melalui konstruksi sederhana untuk menahan longsor tebing.

Berbagai lapisan para pemangku kepentingan dan beragam isu mengenai tutupan lahan di DAS Krueng Peusangan mengindikasikan bahwa penerapan skema imbal jasa lingkungan secara langsung – dengan hanya berbasis *supply demand* - mungkin tidak akan berjalan pada awal proses. Pendekatan investasi bersama dalam memecahkan permasalahan dan pengelolaan DAS, antara masyarakat yang mengelola DAS yang sehat (penyedia jasa lingkungan/*ES provider*) dan masyarakat yang mendapatkan manfaat dari pengelolaan DAS (penerima jasa lingkungan/*ES beneficiaries*) merupakan suatu pilihan yang dapat dikembangkan. Pendekatan investasi bersama, pada prinsipnya didasarkan oleh kepercayaan yang kuat dan komitmen dalam rangka untuk mendapatkan manfaat bersama dan berbagi risiko bersama antara penyedia dan penerima jasa lingkungan. Berdasarkan hasil kajian ini, kami juga merekomendasikan beberapa kajian lanjutan seperti (1) mengkaji pengaruh tutupan lahan baik kopi agroforest maupun tutupan lahan lain yang berasal dari hutan terhadap perbaikan sifat fisik tanah; (2) mengali lebih jauh tipe-tipe pohon yang dikehendaki masyarakat yang mempunyai fungsi ekologi maupun ekonomi.

Ucapan terima kasih

Kajian hidrologi di DAS Krueng peusangan ini didanai oleh World Wide Fund for Nature (WWF) Indonesia dan working paper ini dibuat atas kerjasama ICRAF SEA dalam Proyek Trees in multi-Use Landscapes in Southeast Asia (TUL-SEA) yang didanai oleh Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ) Germany.

Daftar isi

Ringkasan	iv
I. Pendahuluan.....	1
II. Methodologi.....	3
2.1. Kajian Pengetahuan Ekologi dan Analisa Pemangku Kepentingan.....	3
2.2. Analisa Data Iklim dan Hidrologi	5
2.3. Analisa Tutupan Lahan/Perubahan Tutupan Lahan dan Karakteristik DAS	6
2.4. Analisa Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Saat ini dan yang akan Datang terhadap Keseimbangan Air.....	12
III. Hasil.....	19
3.1. Lokasi Kajian	19
3.2. Kajian Pengetahuan Ekologi dan Analisa Pemangku Kepentingan.....	22
3.3. Analisa Data Iklim dan Data Hidrologi	27
3.4. Analisa Spasial: Tutupan Lahan/Perubahan Tutupan Lahan dan Karakteristik DAS	30
3.5. Analisa Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Saat Ini dan yang Akan Datang terhadap Keseimbangan Air.....	36
IV. Pembahasan.....	43
V. Kesimpulan.....	46
Daftar Pustaka.....	47
Lampiran	48

1. Pendahuluan

DAS Krueng Peusangan merupakan DAS utama di provinsi Nanggroe Aceh Darussalam dengan luas 238,550 ha. DAS Krueng Peusangan merupakan DAS yang melintasi empat kabupaten, daerah hulu di Aceh Tengah, daerah tengah di Bener Meriah dan daerah hilir di Bireun dan Aceh Utara. Masyarakat di luar DAS Krueng Peusangan termasuk perusahaan-perusahaan di Lhokseumawe juga merupakan pemangku kepentingan selaku pemanfaat sungai Peusangan.

Degradasi hutan yang terjadi di DAS Krueng Peusangan sebagian besar disebabkan oleh aktivitas penebangan kayu dan kebakaran hutan. Setelah bencana tsunami melanda propinsi Aceh di akhir 2004, aktivitas penebangan kayu meningkat secara drastis. Kebakaran hutan sering terjadi selama musim kemarau terutama hutan pinus yang mudah terbakar (terletak di sepanjang danau Laut Tawar). Banjir, abrasi tepian sungai yang terjadi selama musim hujan, turunnya debit sungai selama musim kering dan turunnya volume danau merupakan permasalahan yang muncul akibat degradasi hutan.

Dalam dokumen kebijakan, DAS Krueng Peusangan merupakan DAS dalam kategori terdegradasi prioritas utama menurut Departemen Pekerjaan Umum dan Dinas Sumber Daya Air Provinsi Aceh. Dengan kata lain, DAS Krueng Peusangan telah mengalami degradasi yang parah dan membutuhkan prioritas tinggi untuk memperbaiki kondisinya. Pemerintah provinsi Aceh mengembangkan rencana strategis (RenStra) pengelolaan DAS Krueng Peusangan secara terpadu dan berkelanjutan untuk mencegah degradasi lebih lanjut. Terkait dengan pengembangan rencana tersebut, WWF bekerjasama dengan World Agroforestry Centre (ICRAF) SEA regional program untuk melakukan kajian hidrologi secara menyeluruh berdasarkan perspektif berbagai pemangku kepentingan menggunakan metode Kaji Cepat Hidrologi/*Rapid Hydrological Appraisal* (RHA) (Jeanes *et al.*, 2006).

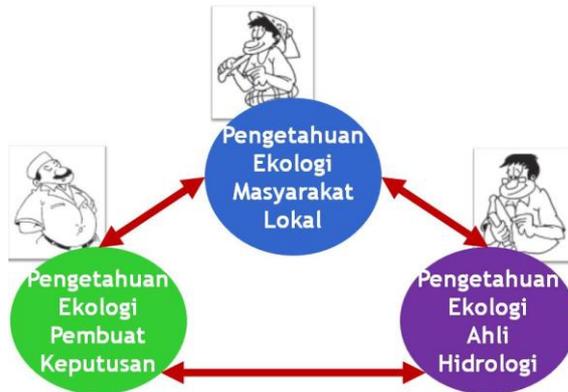
Kaji Cepat Hidrologi menggali tiga macam pengetahuan ekologi akan fungsi DAS/ '*watershed function*', pengetahuan ekologi masyarakat lokal (*local ecological knowledge/LEK*), pengetahuan ekologi pembuat keputusan (*policymakers ecological knowledge/PEK*) dan pengetahuan ekologi ahli hidrologi/peneliti (*hydrologist/modeler ecological knowledge/MEK*) dari berbagai pemangku kepentingan.

Pemangku kepentingan yang berbeda dapat mempunyai perspektif yang berbeda akan fungsi DAS dan memungkinkan adanya kesenjangan untuk tiga macam pengetahuan ekologi tersebut (Gambar 1). Dalam mengkaji fungsi DAS dan hubungan antara hulu – hilir, interaksi antar ketiga pengetahuan ekologi tersebut sering kali menggunakan istilah yang berbeda dan memungkinkan dianggap sebagai mitos oleh pemangku kepentingan yang lain (Jeanes, *et al.*, 2006).

Dengan demikian, tujuan RHA adalah:

1. Menilai situasi hidrologi DAS Krueng Peusangan menurut pengetahuan ekologi berbagai pemangku kepentingan seperti pengetahuan ekologi masyarakat lokal (*LEK*), pengetahuan ekologi pembuat keputusan (*PEK*) dan pengetahuan ekologi ahli hidrologi/peneliti (*MEK*),
2. Mengidentifikasi kesenjangan antara ketiga tipe pengetahuan ekologi tersebut dan menganalisa secara terpadu guna mendapatkan gambaran situasi hidrologi DAS Krueng Peusangan.

3. Mengembangkan skenario dampak perubahan tutupan lahan yang mungkin terjadi menggunakan model GenRiver 2.0 dan untuk mengembangkan skema imbal jasa lingkungan.



Gambar 1. Tiga tipe pengetahuan ekologi yang saling terkait untuk memahami situasi hidrologi DAS.

2. Methodologi

Untuk mencapai tujuan kajian, metode RHA diimplementasikan melalui beberapa kegiatan:

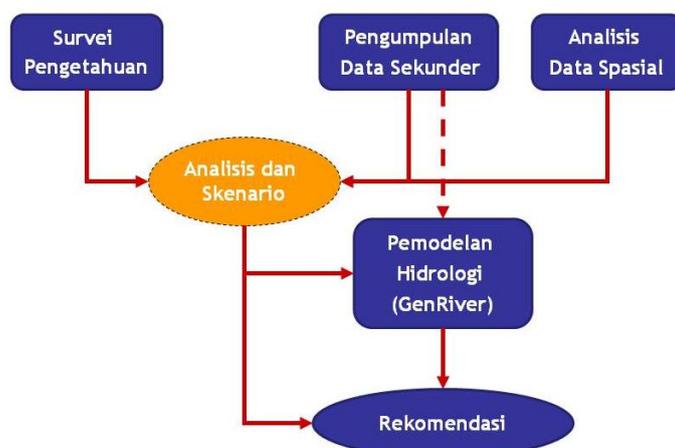
Mengkaji dan menggali pengetahuan ekologi dua tipe pemangku kepentingan utama: pengetahuan ekologi masyarakat lokal dan pengetahuan ekologi pembuat keputusan (LEK dan PEK) selaku pengguna DAS Krueng Peusangan dengan fokus pergerakan air; penyebab dan konsekuensi pemilihan/perubahan penggunaan lahan di suatu bentang lahan (*landscape*) menurut pandangan berbagai pengguna DAS Krueng Peusangan,

Pengumpulan dan analisa data iklim dan hidrologi DAS Krueng Peusangan,

Analisa data spasial DAS Krueng Peusangan untuk memperoleh informasi perubahan tutupan lahan dan karakteristik DAS,

Analisa pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap kesetimbangan air termasuk debit sungai DAS Krueng Peusangan menggunakan model GenRiver 2.0, dan

Analisa berbagai skenario perubahan tutupan lahan yang mungkin terjadi terhadap kesetimbangan air menggunakan model GenRiver 2.0.



Gambar 2. Kegiatan-kegiatan kaji cepat hidrologi

2.1. Kajian Pengetahuan Ekologi dan Analisa Pemangku Kepentingan

Tujuan dari survey LEK dan PEK adalah untuk:

Menggali dan merumuskan pengetahuan ekologi, pengalaman, dan perspektif masyarakat lokal dan pemangku kepentingan yang terlibat dalam pengelolaan DAS Krueng Peusangan secara keseluruhan.

Menggali dan merumuskan pengetahuan ekologi, pengalaman, dan perspektif masyarakat lokal dan pemangku kepentingan yang terlibat dalam pengelolaan sub-DAS tertentu.

Untuk mencapai tujuan tersebut, metode pengumpulan pengetahuan ekologi menggunakan pendekatan pengetahuan berbasis system (*knowledge based system*) (Dixon, *et al.*, 2001). Kajian

LEK dan PEK dilakukan dengan melakukan modifikasi pada pengumpulan data untuk menghemat waktu dan biaya. Serangkaian diskusi kelompok terfokus (*focus group discussion*) dengan kelompok masyarakat lokal dan wawancara dengan beberapa individu pemangku kepentingan dilakukan dengan teknik *snow ball* untuk mendapatkan gambaran pengetahuan ekologi. Pada tahap analisa, pernyataan dari masyarakat lokal dan juga pemangku kepentingan disajikan dalam bentuk diagram yang menggambarkan keterkaitan antar pernyataan.

Sebelum dilakukan serangkaian wawancara dengan beberapa individu pemangku kepentingan, identifikasi pemangku kepentingan dan studi literatur merupakan tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan gambaran pemangku kepentingan yang mempunyai peran penting dalam pengelolaan DAS dan pengembangan skema imbal jasa.

Kajian pengetahuan ekologi dilakukan bersama-sama dengan pengumpulan data-data spasial dan hidrologi. Langkah-langkah dalam survey pengetahuan ekologi disajikan dalam Tabel 1. Untuk mendapatkan gambaran pengetahuan ekologi masyarakat lokal yang tinggal di DAS krueng peusangan, survey pengetahuan ekologi dilakukan di tiga lokasi yang mewakili: (1) daerah hulu dan tengah (Kabupaten Aceh Tengah); (2) daerah hulu dan tengah (Kabupaten Bener Meuriah); dan (3) daerah hilir (Kabupaten Bireun dan Aceh Utara). KKA (kertas Kraft Aceh), industri kertas swasta yang terletak di Aceh Utara dan Lhokseumawe merupakan pembeli potensial dalam skema imbal jasa lingkungan.

Tabel 1. Tahapan kajian LEK dan PEK pada RHA

Tahapan	Metode	Hasil
Pembatasan lingkup kajian	Tinjauan literatur Observasi dan kunjungan lapangan	Untuk penelitian secara keseluruhan: Peta dasar dan gambaran wilayah kajian Keputusan mengenai lokasi untuk kajian pengetahuan ekologi.
		Hanya untuk kajian PEK: Identifikasi pemangku kepentingan Definisi DAS
		Hanya untuk kajian LEK: Riwayat masyarakat Definisi batas sub-DAS
Perencanaan untuk wawancara	Tinjauan literatur Definisi batas sub-DAS	Tipologi kelompok masyarakat perwakilan Daftar pertanyaan Pemangku kepentingan Daftar pertanyaan
Perumusan pengetahuan	Kajian pengetahuan ekologi lokal Diskusi kelompok Kunjungan lapangan (transek) Analisis pemangku kepentingan Wawancara dan diskusi	Ringkasan hasil secara umum (permasalahan utama, sebab-akibat permasalahan dan solusi permasalahan)
Kompilasi data dan evaluasi	Menyederhanakan data wawancara (ke database jika diperlukan) Kunjungan ulang untuk konfirmasi pernyataan yang meragukan Penyusunan laporan	Database Draf laporan

Serangkaian diskusi kelompok terfokus (*focus group discussion*) ditingkat masyarakat dilakukan dengan berkoordinasi dengan Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) setempat yang peduli dengan masalah lingkungan dan juga mitra WWF dalam masalah pengelolaan DAS. Lembaga swadaya tersebut antara lain: SILVA di Lhokseumawe, Aceh Green Care di Bireun dan Forum Danau Laut Tawar di Takengon.

2.2. Analisa Data Iklim dan Hidrologi

GenRiver 2.0 digunakan untuk memodelkan pengaruh perubahan penggunaan lahan saat ini dan masa mendatang terhadap kesetimbangan air/situasi hidrologi DAS Krueng Peusangan. Untuk dapat menjalankan model GenRiver dibutuhkan minimal data iklim dan data hidrologi untuk kurun waktu 20 tahun. Data iklim dan data hidrologi di DAS Krueng Peusangan yang tersedia disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data iklim dan hidrologi DAS Krueng Peusangan yang tersedia.

	Data	Sumber	Tahun Yang Tersedia	Cakupan Area
Iklim	Curah hujan harian	Stasiun meteorologi Kelas III Lhokseumawe, Bandara Malikussaleh	1990 – 2009 ¹⁾	Hilir
		Dinas Pekerjaan Umum Propinsi Aceh	2008 - 2009	Hulu
		Dinas Pertanian, Takengon	2009	Hulu
	Curah hujan bulanan	Dinas Pertanian, Takengon	1993 - 2008	Hulu
	Curah hujan bulanan	www.worldclim.com	Data rata-rata: saat ini (1950 – 2000) yang akan datang (>2000) ¹⁾	DAS Krueng Peusangan
	Data iklim penunjang: evapotranspirasi potensial	Stasiun meteorologi Kelas III Lhokseumawe, Bandara Malikussaleh	1999 – 2009 ¹⁾	
Debit Sungai	Data debit sungai harian dari stasiun Beukah	PUSAIR, Bandung	1991 – 1997 ¹⁾	DAS Krueng Peusangan
	Data debit sungai harian dari stasiun Simpang Jaya		1991 – 1997	DAS Krueng Peusangan

1) Data yang digunakan untuk menjalankan model GenRiver

2.2.1 Analisa data curah hujan

Data curah hujan harian untuk jangka waktu yang panjang yang mencakup semua wilayah DAS Krueng Peusangan tidak tersedia (Tabel 2). Sebagai solusi, data curah hujan dibangkitkan menggunakan model pembangkit curah hujan (*Rainfall Simulator Model*) (van Noordwijk, *in press*) berdasarkan data hujan bulanan yang tersedia dari *Worldclim* (www.worldclim.com) dan data curah hujan harian dari salah satu stasiun. Data curah hujan harian digunakan sebagai input untuk menjalankan model GenRiver. Model *Rainfall Simulator* mempertimbangkan hubungan temporal autokorelasi curah hujan, nilai curah hujan harian, distribusi frekuensi, pola bulan basah dan kering dan total curah hujan tahunan.

Parameter-parameter input utama model *Rainfall Simulator* antara lain :

Distribusi frekuensi (banyaknya hari hujan setiap bulan); pola bulan basah dan kering; dan rata-rata total curah hujan tahunan. Data curah hujan harian dari stasiun meteorologi Kelas III Lhokseumawe, Bandara Malikussaleh digunakan untuk membangkitkan input parameter ini.

Data curah hujan tahunan dan bulanan. Rata-rata data curah hujan tahunan dan bulanan menggunakan data yang di ambil dari *Worldclim* periode 1950 – 2000 dan saat ini (> 2000).

Kemampuan model *Rainfall Simulator* dalam membangkitkan data curah hujan harian dievaluasi dengan membandingkan data curah hujan bulanan dan tahunan hasil pengukuran (*Wordclim*) dengan data hasil simulasi. Koefisien korelasi dan analisis bias (Appendix 1) digunakan sebagai indikator kesesuaian model.

2.2.2 Analisa data debit sungai

Data debit harian hanya tersedia untuk kurun waktu enam tahun. Serangkaian uji konsistensi/keakuratan data debit sungai stasiun Beukah yang dilakukan sebelum data debit digunakan sebagai data input dalam menjalankan model GenRiver antara lain:

Menghitung selisih total curah hujan tahunan dan debit sungai tahunan ($\Sigma P - \Sigma Q$), nilai selisih ini mencerminkan kisaran total evapotranspirasi. Nilai dibawah 500 atau diatas 1500 mm/tahun mengindikasikan adanya kesalahan (*error*) saat pendataan nilai P atau Q.

Plot kurva '*Double Mass*' dari nilai kumulatif ΣQ terhadap ΣP pertahun: kenaikan yang besar mengindikasikan adanya kejanggalan dan perlu penjelasan lebih jauh.

Plot kestabilan aliran (*flow persistence*) debit hari ini (Q_{i+1}) terhadap debit hari sebelumnya (Q_i), hal ini untuk melihat adanya pencilan (*outliers*) yang mengindikasikan adanya kesalahan (*error*).

2.3 Analisa Perubahan Penggunaan/Penutupan Lahan dan Karakteristik DAS

Cara pandang masyarakat dalam mengelola lahan akan mempengaruhi karakteristik hidrologi dalam suatu bentang alam. Oleh karena itu, pemahaman akan komposisi, konfigurasi dan dinamika bentang lahan dalam skala ruang dan waktu merupakan komponen penting dalam kajian RHA. Karakteristik hidrologi DAS dapat diidentifikasi berdasarkan beberapa komponen bentang lahan seperti: komposisi penggunaan/penutupan lahan, topografi, jenis tanah dan kondisi geologi. Informasi tersebut diperoleh melalui analisa konfigurasi bentang lahan dan dinamika penggunaan/penutupan lahan di DAS Krueng Peusangan yang dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu: (1) pengumpulan data spasial primer maupun sekunder, (2) pengolahan data topografi untuk memahami konfigurasi DAS, dan (3) analisa perubahan penggunaan/penutupan lahan beserta alur perubahannya (*analysis of land use/cover change and trajectories/ALUCT*).

2.3.1 Data spasial

Analisa spasial dalam RHA dilakukan dengan menggunakan beberapa tipe data spasial yaitu: citra satelit untuk memetakan tutupan lahan, *digital elevation model*/DEM untuk memetakan karakteristik DAS dan peta-peta tematik untuk melihat konfigurasi bentang lahan. Data-data tersebut diperoleh dari instansi pemerintah atau lembaga penelitian dan sumber-sumber lainnya

Citra satelit

Dibutuhkan citra satelit dari beberapa titik waktu untuk membuat seri peta tutupan lahan DAS Krueng Peusangan. Peta tutupan lahan dari waktu ke waktu (*time series land cover map*) dapat menggambarkan perubahan tutupan lahan pada kurun waktu tertentu. Dalam kajian ini digunakan citra satelit landsat dengan resolusi spasial 30 m yang diperoleh dari *Earth Resource Observation and Science (EROS) Centre* (<http://eros.usgs.gov/>). Daftar citra satelit dan tanggal

perekamannya disajikan dalam Tabel 3. Figur citra satelit dari waktu ke waktu disajikan dalam Gambar 3.

Tabel 3. Daftar citra satelit DAS Krueng Peusangan

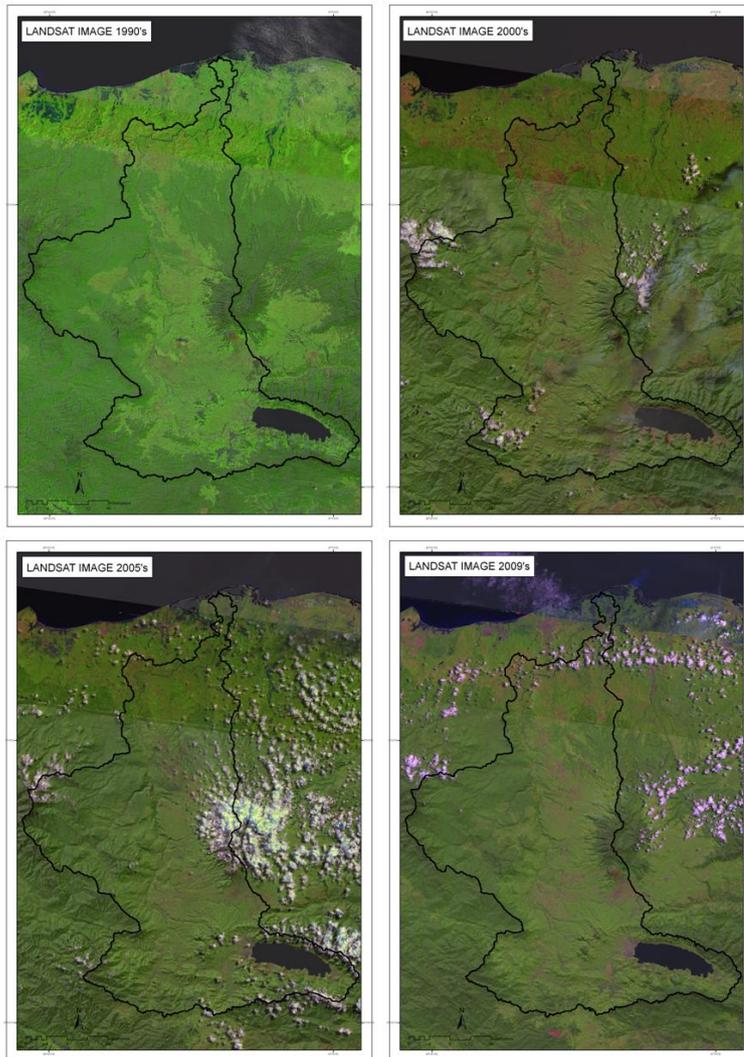
Citra Satelit	Path/Baris	Tanggal Perekaman
Landsat TM 1990 's	P130r056	6 Januari 1990
	P130r057	6 Januari 1990
Landsat ETM 2000's	P130r056	5 Mei 2000
	P130r057	5 Mei 2000
Landsat ETM SLC-off 2005's	P130r056	7 Januari 2005
	P130r057	3 Juni 2006
Landsat ETM SLC-off 2009's	P130r056	5 Januari 2010
	P130r057	24 April 2009

Model Elevasi Dijital (Digital Elevation Model/DEM)

Digital Elevation Model/DEM adalah data yang memberikan informasi ketinggian dan karakteristik topografi suatu bentang lahan. Dalam RHA, DEM digunakan untuk mengidentifikasi batas DAS dan sub-DAS. Model elevasi dijital yang digunakan dalam kajian ini adalah data *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)*.

Peta-peta tematik

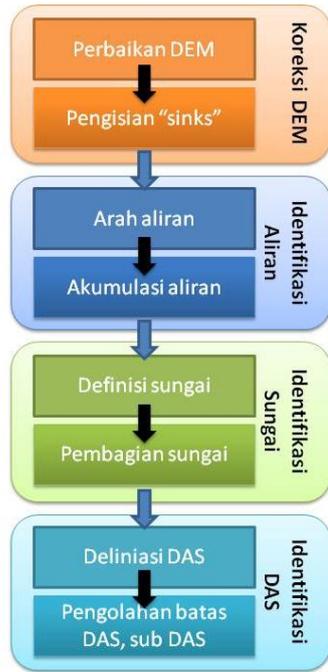
Untuk lebih memahami konfigurasi bentang lahan DAS Krueng Peusangan, dikumpulkan juga beberapa peta tematik seperti: peta batas administrasi, peta tanah, peta geologi, dan peta perencanaan wilayah dan tata ruang.



Gambar 3. Citra satelit dari waktu ke waktu DAS Krueng Peusangan

2.3.2 Pengolahan data topografi

Tujuan utama pengolahan data topografi dalam RHA adalah untuk mendapatkan gambaran informasi batas DAS; sub-DAS dan jaringan sungai di dalam wilayah kajian. *SRTM Digital Elevation Model* dengan resolusi spasial 90 m merupakan data utama yang dibutuhkan untuk mendapatkan informasi tersebut. Proses pengolahan data topografi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ArcHydro (<http://www.crrw.utexas.edu/giswr/hydro/ArcHOSS/index.cfm>). Tahapan pengolahan data topografi menggunakan ArcHydro disajikan dalam Gambar 4. Dua kelompok data yang dihasilkan dari pengolahan data topografi ini adalah batas DAS; sub-DAS dan jarak tempuh aliran air dari suatu sungai untuk mencapai outlet akhir (*routing distance*). Pada tahapan selanjutnya, data-data ini digunakan sebagai *input* dalam model GenRiver.



Gambar 4. Alur kerja pengolahan data topografi untuk mendapatkan batas DAS/sub-DAS dan jaringan sungai.

2.3.3 Analisa perubahan penutupan/penggunaan lahan dan alur perubahannya (ALUCT)

Analisa perubahan penggunaan/penutupan lahan dan alur perubahannya (ALUCT) adalah kerangka kerja yang digunakan untuk memahami perubahan penggunaan/penutupan lahan dalam suatu bentang lahan dengan menggunakan data penginderaan jauh (*remote sensing*). Dalam kajian RHA, informasi yang dihasilkan oleh ALUCT adalah:

Peta tutupan lahan dari waktu ke waktu yang mencakup tahun 1990, 2000, 2005 dan 2009.

Perubahan tutupan lahan.

Alur perubahan tutupan lahan dari waktu ke waktu.

ALUCT membutuhkan dua tipe data: (1) citra satelit dari beberapa titik waktu, dan (2) data hasil pengecekan tipe-tipe penutupan lahan. Citra satelit yang digunakan adalah citra Landsat dengan resolusi spasial 30 m. Proses pengecekan lapangan dilakukan pada Januari 2010.

Sebelum implementasi ALUCT, perlu dilakukan pendataan dan penentuan daftar kelas penggunaan/penutupan lahan di area penelitian. Kelas penggunaan/penutupan lahan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat dikenali dari citra satelit dan mencakup semua tipe penggunaan/penutupan lahan yang dominan yang ada di area kajian. Daftar kelas penggunaan/penutupan lahan yang relevan dikembangkan saat kunjungan lapangan di area kajian.

Alur kerja ALUCT (Gambar 5) dapat diklasifikasikan ke dalam tiga tahapan: (1) pengolahan awal citra, (2) klasifikasi citra, dan (3) analisa akhir. Tahap pertama, pengolahan awal citra, bertujuan untuk melakukan perbaikan distorsi geometri menggunakan *ground control point* (GCP) yang dikumpulkan dari data-data referensi. Pada kasus ini, citra *orthorectified Landsat 1990* dari *United States Geological Survey (USGS)* digunakan sebagai data referensi. Nilai

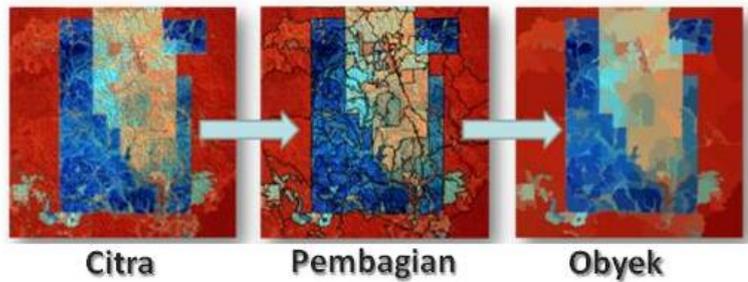
minimum 20 GCP digunakan untuk perbaikan geometri, memastikan ketepatan geometri 0.5 pixel (<15 m) untuk semua citra.

Tahap kedua ALUCT adalah klasifikasi citra. Tujuan klasifikasi citra adalah untuk menafsirkan informasi spektral yang terkandung dalam citra satelit ke dalam kelas penggunaan/penutupan lahan. Pendekatan yang digunakan dalam klasifikasi citra adalah klasifikasi hirarki berbasis obyek (*object-based hierarchical*). Dalam pendekatan ini, klasifikasi citra dimulai dengan proses segmentasi. Tujuan segmentasi adalah untuk menghasilkan obyek citra, berupa sekelompok piksel yang mempunyai tingkat kesamaan karakteristik spektral dan spasial. Obyek citra harus dapat mewakili bentang lahan yang sebenarnya dalam citra satelit. Beberapa tahapan proses pembagian citra dilakukan untuk mendapatkan hasil klasifikasi yang detail. Hasil proses pembagian citra adalah citra multi resolusi yang berfungsi sebagai dasar untuk sistem klasifikasi hirarki. Proses pembagian citra digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Alur kerja analisa perubahan penggunaan/penutupan lahan dan alur perubahannya (ALUCT).

Setelah proses pembagian citra, klasifikasi citra dilakukan menggunakan struktur hirarki seperti disajikan pada Gambar 7. Struktur hirarki dibagi kedalam empat tingkat, pada masing-masing tingkat, tipe tutupan lahan diinterpretasi dengan menggunakan kunci interpretasi spektral dan spasial. Tingkat keragaman tipe tutupan lahan meningkat dari satu tingkat ke tingkat yang lain, demikian pula halnya dengan kunci interpretasi pada setiap tingkat. Tingkat pertama terdiri dari kelas tutupan lahan seperti: hutan, sistem vegetasi berbasis pohon, sistem vegetasi berbasis selain pohon dan bukan vegetasi. Kelas-kelas ini mudah dikenali dan dibedakan berdasarkan indeks vegetasi sederhana dan tampilan dalam citra satelit. Indeks vegetasi merupakan rasio nilai spektral antara band yang sensitif terhadap vegetasi (spektrum infra merah) dan band yang tidak sensitif terhadap vegetasi (spektrum sinar tampak) dalam citra satelit.



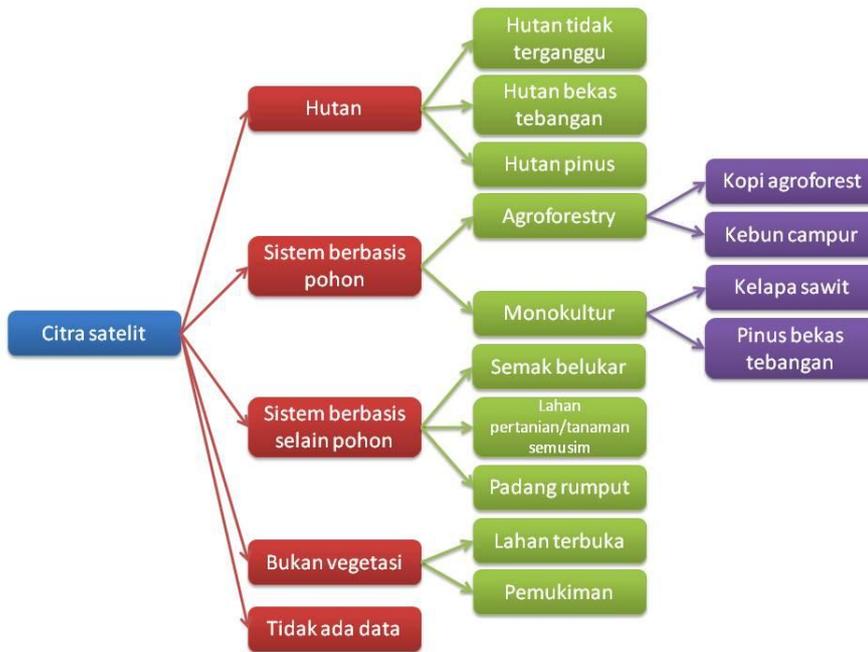
Gambar 6. Proses pembagian citra

Hasil klasifikasi pada tingkat 1 selanjutnya diklasifikasikan lebih detail pada tingkat 2. Pada tingkat ini, proses interpretasi dilakukan tidak hanya menggunakan parameter spektral, tetapi juga menggunakan karakteristik spasial seperti peta kebun kelapa sawit, pengecekan lapangan dan algoritma *Nearest Neighborhood*. Algoritma *Nearest Neighborhood* dalam klasifikasi hirarki berbasis obyek dilakukan dalam dua tahap: (1) optimisasi ciri-ciri ruang, dan (2) klasifikasi (Definiens, 2007). Tahap pertama dilakukan dengan menghitung kombinasi obyek yang menghasilkan ciri-ciri obyek yang menghasilkan rata-rata terbesar dari jarak terkecil antar sampel di kelas yang berbeda.

Kombinasi ciri-ciri obyek digunakan pada tahap kedua untuk mengklasifikasikan obyek kedalam kelas tutupan lahan pada tingkat 2. Tingkat 2 mempunyai 10 kelas tutupan lahan: hutan tidak terganggu, hutan bekas tebangan, hutan pinus, agroforest, pohon monokultur, semak belukar, lahan pertanian/tanaman semusin, padang rumput, lahan terbuka dan pemukiman. Pada tingkat 3, agroforest dan pohon monokultur dibagi lagi menjadi kopi agroforest, kebun campuran, kelapa sawit dan pinus bekas tebangan.

Tahapan akhir dari ALUCT adalah proses interpretasi akhir (*post interpretation analysis*). Dua proses yang dilakukan dalam tahap ini adalah, penilaian akurasi (*accuracy assessment*) dan analisis perubahan tutupan lahan (*land cover change analysis*). Tujuan penilaian akurasi adalah untuk menguji kualitas informasi yang dihasilkan dari proses klasifikasi citra. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan data referensi lapangan dengan peta tutupan lahan yang dihasilkan dari masing-masing area. Tingkat akurasi minimum yang ditargetkan dalam kajian ini adalah > 80%.

Langkah terakhir dalam ALUCT adalah analisa perubahan tutupan lahan. Dua bentuk analisis perubahan tutupan lahan yang dilakukan adalah: analisa perubahan berbasis luasan (*area-based changes analysis*) and analisa berbasis alur perubahan (*trajectories analysis*). Analisa perubahan berbasis luasan merupakan analisa perubahan sederhana dengan membandingkan total area untuk setiap tipe tutupan lahan pada setiap periode. Analisa ini dilakukan dalam 2 cakupan wilayah: (1) luasan DAS Krueng Peusangan, dan (2) luasan administrasi DAS Krueng Peusangan. Hasil analisa akan menunjukkan tipe perubahan tutupan lahan yang dominan di daerah kajian. Analisa alur perubahan dalam ALUCT, dilakukan untuk menilai kecenderungan perubahan penggunaan/penutupan lahan selama periode analisa.



Gambar 7. Skema hirarki klasifikasi

2.4 Analisa Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Saat ini dan yang akan Datang terhadap Keseimbangan Air

Pendekatan pemodelan digunakan untuk memperkirakan keseimbangan air termasuk debit sungai dalam suatu bentang lahan, model yang digunakan adalah GenRiver 2.0 (*Generic River Flow*) (van Nordwijk *et al.*, 2010). GenRiver 2.0 adalah suatu model sederhana yang memodelkan keseimbangan air dari skala plot ke skala bentang lahan. Model GenRiver 2.0 dapat digunakan untuk memahami sejarah perubahan debit sungai akibat perubahan penggunaan/penutupan lahan.

Secara umum, perhitungan curah hujan (P) dalam suatu bentang lahan memperhitungkan evapotranspirasi (E); debit sungai (Q) (jumlah aliran permukaan tanah, aliran bawah permukaan tanah dan aliran air bawah tanah); dan perubahan air tanah (ΔS) (Gambar 8).

$$P = Q + E + \Delta S$$

Modul inti dalam model GenRiver 2.0 adalah dinamika keseimbangan air harian pada suatu wilayah yang dipengaruhi oleh curah hujan setempat; perubahan penggunaan/penutupan lahan dan sifat tanah. Dinamika keseimbangan air harian pada suatu wilayah mencerminkan dinamika tiga jenis aliran air: aliran permukaan tanah (*surface-quick flow*), aliran bawah permukaan tanah (*soil-quick flow*) dan aliran air bawah tanah (*base flow*) melalui pelepasan air bawah tanah secara bertahap.

Dalam model Genriver, sungai diasumsikan sebagai gabungan dari semua aliran yang berasal dari masing-masing sub-DAS dengan masing-masing curah hujan harian; fraksi tutupan lahan tahunan; luas sub-DAS; dan jarak ke outlet akhir (*final outlet*) yang berbeda antar satu sub-DAS dengan sub-DAS yang lain. Interksi antar aliran dalam kontribusinya ke sungai dianggap tidak ada (tidak ada 'aliran balik'). Pola spatial curah hujan harian diterjemahkan kedalam rata-rata

curah hujan harian di masing-masing sub-DAS. Pada tingkat sub-DAS dimodelkan tingkat intersepsi; infiltrasi ke dalam tanah; perkolasi ke bawah tanah; aliran permukaan tanah; aliran bawah permukaan tanah dengan parameter-parameter yang bervariasi antar kelas tutupan lahan (Gambar 8).

Kegiatan pemodelan dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut:

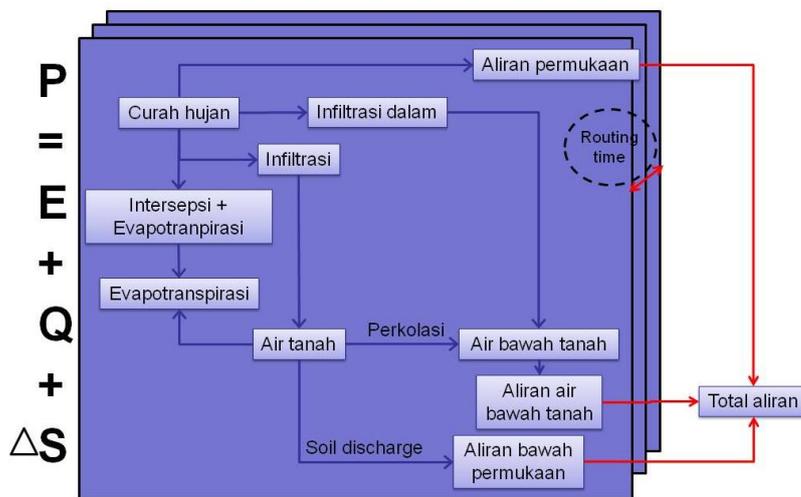
Persiapan data dan parameterisasi model;

Kalibrasi model termasuk evaluasi kemampuan model;

Penilaian situasi hidrologi DAS;

Pengembangan skenario berdasarkan hasil analisa LEK dan PEK (sub bab 2.1);

Simulasi model berdasarkan skenario yang dikembangkan pada point 4 untuk memahami pengaruh perubahan penggunaan/penutupan lahan terhadap neraca air dan debit sungai.



Gambar 8. Pemodelan kesetimbangan air dalam model GenRiver 2.0

2.4.1 Parameterisasi model

Data-data yang dibutuhkan untuk parameterisasi model meliputi data iklim (curah hujan dan evapotranspirasi) dan data hidrologi (debit sungai) (Sub bab 2.2); dan data spatial: tanah, perubahan penggunaan/penutupanlahan dan karakteristik DAS (Sub bab 2.3) (Tabel 4).

Tabel 4. Data input model GenRiver 2.0

	Data	Sumber	Parameterisasi GenRiver
1.	Data Iklim	Curah hujan harian selama 20 tahun (1990 - 2009)	Stasiun klimatologi dan Worldclim
		Data pendukung (rata-rata evaporasi bulanan) selama 10 tahun (2000 - 2009)	Data input
2.	Data debit	Debit harian selama 7 tahun (1991 - 1997)	Stasiun Sungai
3.	Data spasial	Tipe dan kedalaman tanah untuk 11 subcatchment	Peta-peta tanah yang ada
			- Data input
			- Membangkitkan data input yang lain
		Peta tutupan lahan tahun 1990, 2000, 2005 dan 2009	Interpretasi citra
		Dinamika tutupan lahan dari waktu ke waktu	Interpretasi citra
	Batas DAS dan 11 sub-DAS	DEM	Data Input
	Jarak ke outlet akhir (routing distance) untuk 11 sub-DAS		Data Input
4.	Data penduku ng	Volume Danau	Eksplorasi lokal
			Volume penyimpanan, aliran masuk dan aliran keluar

Sebelum menggunakan data curah hujan dan debit sungai sebagai input dan kalibrasi model, data curah hujan harian yang mewakili DAS Krueng Peusangan dibangkitkan menggunakan model 'Rainfall Simulator' (Tabel 19) dan serangkaian uji konsistensi dilakukan pada data debit sungai untuk mendapatkan data dengan kualitas yang baik (Gambar 16 dan 17). Data rata-rata bulanan evapotranspirasi dihitung berdasarkan data tahun 2000 – 2009 yang tersedia (Gambar 11). Pola data potensial evapotranspirasi harian masing-masing tipe tutupan lahan dihitung dengan cara mengalikan nilai bulanan terhadap pengali dari setiap tipe tutupan lahan (Tabel 5).

Tabel 5. Pengali potensial evapotranspirasi harian untuk setiap tutupan lahan

Tipe tutupan lahan	Pengali potensial evapotranspirasi harian											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Hutan	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Hutan bekas tebangan	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Hutan pinus	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Pinus bekas tebangan	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Kelapa sawit	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Kebun campur kompleks	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Monokultur pohon	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Hortikultura	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.30	0.50	0.50	0.50	0.80
Sawah	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Semak belukar dan padang rumput	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
pemukiman	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ultisols dan Inceptisols merupakan dua jenis tanah yang dominan (sekitar 80% dari total area) disemua sub DAS (Table 6) dengan laju infiltrasi yang rendah jika dibandingkan dengan jenis tanah yang lain. Rerata BD/BDref berkisar 0.8 (hutan) – 1.3 (pemukiman) (Tabel 8).

Tabel 6. Jenis tanah, luas dan jarak ke outlet akhir pada masing-masing sub-DAS

	Sub-DAS	Luas (km ²)	Jarak ke outlet akhir (km)	Alfisols	Entisols	Inceptisols	Mollisols	Ultisols
Hilir	LC1	135.79	91.71	0.00	0.00	9.34	0.00	90.66
	LC2	305.44	63.68	0.00	0.00	42.38	0.00	57.62
	LC3	185.71	73.96	0.00	0.00	63.07	0.00	36.93
	LC4	67.22	23.77	0.00	0.09	66.06	0.00	33.85
Tengah	MC1	362.17	108.02	0.00	0.00	58.56	2.68	38.76
	MC2	324.68	101.80	0.00	0.00	15.09	14.05	70.86
Hulu	UC1 bagian atas	197.79	153.24	0.20	0.00	34.05	51.10	14.65
	UC1 bagian bawah	192.43	126.81	0.20	0.00	34.05	51.10	14.65
	UC2	239.28	130.71	0.00	0.00	34.30	9.02	56.68
	UC3	137.46	119.93	0.00	0.00	63.87	0.00	36.13
	UC4	120.42	111.00	0.00	0.00	42.00	1.29	56.71

Model dijalankan dengan menggunakan 11 tipe tutupan lahan, oleh karena itu kelas tutupan lahan hasil analisa citra perlu dikelompokkan (Tabel 7). Pengelompokan kelas tutupan lahan dilakukan berdasarkan kesamaan nilai potensial intersepsi dan kepadatan tanah (*bulk density*) (Tabel 8). Selama 20 tahun terakhir, tipe tutupan lahan hutan berkurang 40% dan dikonversi menjadi sistem pertanian berbasis pohon (Tabel 9).

Berdasarkan hasil deliniasi batas DAS dan sub-DAS menggunakan DEM, DAS Krueng Peusangan terdiri dari 11 sub-DAS (Gambar 18). Tabel 6 menunjukkan luas masing-masing sub-DAS dan jarak ke outlet akhir (*final outlet*). Danau Laut Tawar berada di bagian hulu DAS.

Tabel 7. Pengelompokan tipe tutupan lahan

No.	Tipe tutupan lahan hasil analisa citra	Tipe tutupan lahan model GenRiver
1.	Hutan tidak terganggu	Hutan
2.	Hutan bekas tebangan	Hutan bekas tebangan
3.	Hutan pinus	Hutan pinus
4.	Pinus bekas tebangan	Pinus bekas tebangan
5.	Kelapa sawit	Kelapa sawit
6.	Kebun campur	Kebun campur kompleks
7.	Kelapa agroforest	
8.	Kopi agroforest	Monokultur pohon
9.	<i>Areca catechu</i> (pinang) monokultur	
10.	Karet monokultur	
11.	<i>Metroxylon sago</i> (sagu) monokultur	Hortikultur
12.	Lahan pertanian/tanaman semusim	
13.	Sawah	Sawah
14.	Semak belukar	Semak belukar dan padang rumput
15.	Padang rumput	
16.	Lahan terbuka	
17.	Pemukiman	Pemukiman

Tabel 8. Input parameter BD/BDref, potential intersepsi and kepekaan terhadap kekeringan

Land cover type	Potential Intersepsi (mm day ⁻¹)	kepekaan terhadap kekeringan	BD/BDref
Hutan	4.00	0.40	0.80
Hutan bekas tebangan	3.00	0.50	1.08
Hutan pinus	5.00	0.40	1.15
Pinus bekas tebangan	3.50	0.40	1.10
Kelapa sawit	5.00	0.55	1.08
Kebun campur kompleks	3.00	0.60	1.00
Monokultur pohon	4.00	0.55	1.08
Hortikultura	3.00	0.70	1.10
Sawah	4.00	0.90	1.20
Semak belukar dan padang rumput	2.00	0.55	1.00
pemukiman	0.05	0.01	1.30

Tabel 9. Perubahan tutupan lahan (%)

Kelas tutupan lahan	Perubahan tutupan lahan (seluruh sub catchment)			
	1990	2000	2005	2009
Hutan	39.66	26.06	23.55	22.21
Hutan bekas tebangan	12.54	15.19	14.85	14.89
Hutan pinus	0.29	1.23	0.40	0.18
Pinus bekas tebangan	1.87	1.41	1.18	1.62
Kelapa sawit	0.00	0.00	1.05	2.98
Kebun campur kompleks	27.82	36.51	44.83	43.72
Monokultur pohon	1.52	1.57	2.42	3.00
Hortikultura	9.27	3.62	3.42	3.55
Sawah	3.05	3.70	2.13	2.57
Semak belukar dan padang rumput	3.93	10.63	5.97	4.76
pemukiman	0.04	0.08	0.19	0.52
Total	100	100	100	100

Beberapa parameter yang tidak terukur yang digunakan selama proses kalibrasi model antara lain potensial intersepsi, kepekaan terhadap kekeringan per tipe tutupan lahan disajikan pada Tabel 8 dan beberapa parameter lain seperti intensitas curah hujan dan laju infiltrasi maksimum disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Beberapa parameter tidak terukur yang digunakan

Acronym*	Default	Value	Unit
RainInterceptDripRt (i)	10	30	mm
RainMaxIntDripDur (i)	0.5	0.7	mm
InterceptEffectontrans(i)	0.8	0.4	mm
RainIntensMean	30	30	mm day ⁻¹
RainIntensCoefVar	0.3	0.35	-
MaxInfRate (i)	720	400	mm day ⁻¹
MaxInfSubsoil (i)	120	100	mm day ⁻¹
PerFracMultiplier (i)	0.1	0.5	-
MaxDynGrWatStore (i)	300	300	mm
GWReleaseFracVar (i)	0.1	0.03	-
Tortuosity (i)	0.5	0.6	-
Dispersal Factor (i)	0.5	0.6	-
River Velocity (i)	0.4	0.7	m s ⁻¹
Initial Lake Volum		2,650,000,000	m ³

* Definisi setiap parameter dapat di lihat pada Manual GenRiver

2.4.2 Kalibrasi model dan evaluasi kemampuan model

Indikator statistik yang dikemukakan oleh Nash dan Sutcliffe (1970) (Lampiran 2), koefisien korelasi (Lampiran 1) dan kurva double mass curah hujan kumulatif vs debit sungai kumulatif digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model dengan cara membandingkan debit hasil pengukuran dengan debit hasil simulasi model.

2.4.3 Penilaian situasi hidrologi DAS

Situasi hidrologi DAS dinilai dari parameter kriteria dan indikator dari penyebaran air (debit sungai per unit curah hujan), kapasitas penyangga (hubungan antara debit sungai puncak dengan curah hujan puncak, dihubungkan dengan resiko terjadinya banjir) dan pelepasan air bawah tanah secara bertahap saat musim kering berdasarkan resapan di musim hujan (Lampiran 3).

2.4.4 Simulasi model berdasarkan skenario yang disusun

Setelah model menghasilkan keluaran yang memuaskan, lima skenario dengan periode simulasi selama 10 tahun kedepan (Tabel 11) dijalankan dengan model. Skenario-skenario tersebut dihasilkan berdasarkan (1) Pengamatan yang dibuat selama kajian LEK dan PEK; (2) perspektif masyarakat lokal dan pemangku kepentingan terhadap faktor penyebab masalah hidrologi; dan (3) analisis data spasial dan kalibrasi GenRiver model yang membuktikan adanya penurunan tutupan hutan serta peningkatan fraksi aliran air terhadap total curah hujan. Proporsi perubahan tutupan lahan untuk masing-masing skenario ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 11. Skenario untuk memahami pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap kesetimbangan air

Skenario	Diskripsi
Bisnis seperti biasa/BAU	Deforestasi sekitar 4% dari total luasan
1	Padang rumput, lahan terbuka, semak belukar, lahan pertanian/tanaman semusim dan sawah diseluruh sub-DAS di konversi menjadi kebun campur kompleks.
2	Hutan bekas tebangan diseluruh sub-DAS dikonversi menjadi hutan pinus.
3	Skenario 1 + 2
4	lahan pertanian/tanaman semusim, sawah and pohon monokultur (<i>Areca catechu</i> /betel nut dan <i>Metroxylon sago/sagoo</i>) diseluruh sub-DAS dikonversi menjadi kebun campur kompleks. Padang rumput, lahan terbuka, semak belukar, pinus bekas tebangan dan hutan bekas tebangan diseluruh sub-DAS dikonversi menjadi hutan.
5	Semua jenis tutupan lahan diseluruh sub-DAS kecuali pemukiman dikonversi menjadi hutan (referensi historis, potensi bentuk pengelolaan pengembalian tutupan hutan yang terbaik)

Tabel 12. Perubahan tutupan lahan (%) untuk semua skenario

Kelas tutupan lahan	Perubahan tutupan lahan (semua sub catchment)*						
	2009	BAU	1	2	3	4	5
Hutan	22.21	18.16	22.21	22.21	22.21	43.48	99.48
Hutan bekas tebangan	14.89	18.94	14.89	0.00	0.00	0.00	0.00
Hutan pinus	0.18	0.18	0.18	15.07	15.07	0.18	0.00
Pinus bekas tebangan	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	0.00	0.00
Kelapa sawit	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	0.00
Kebun campur kompleks	43.72	43.72	54.60	43.72	54.60	51.13	0.00
Monokultur pohon	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	1.71	0.00
Hortikultura	3.55	3.55	0.00	3.55	0.00	0.00	0.00
Sawah	2.57	2.57	0.00	2.57	0.00	0.00	0.00
Semak belukar dan padang rumput	4.76	4.76	0.00	4.76	0.00	0.00	0.00
pemukiman	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Total	100	100	100	100	100	100	100

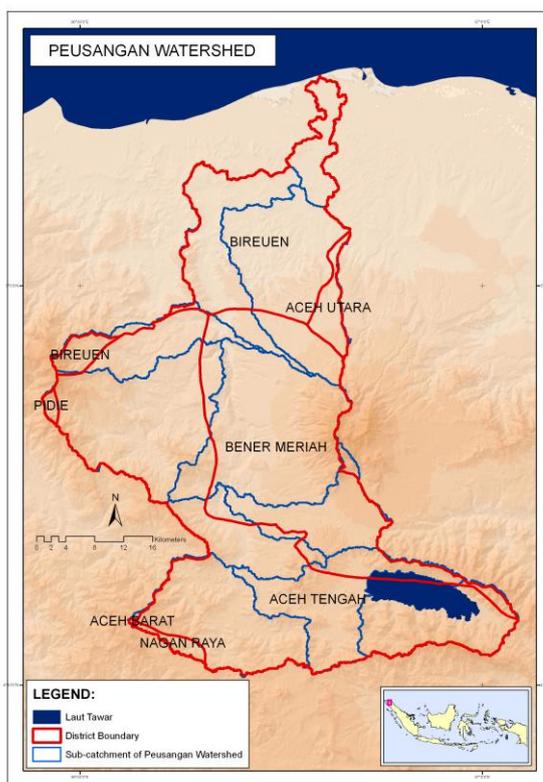
* Angka berwarna merah: area tersebut mengalami penurunan, angka berwarna biru: area tersebut mengalami peningkatan dan angka berwarna hitam: area tersebut tidak mengalami perubahan dari 2009.

3. Hasil

3.1 Lokasi Kajian

3.1.1 Lokasi kajian

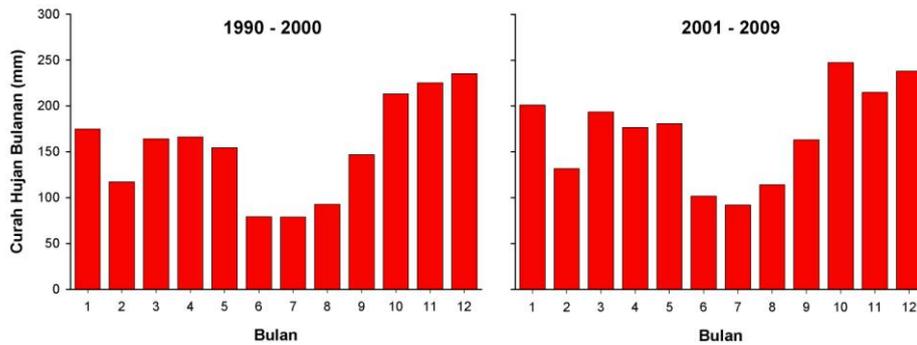
Secara geografis, DAS Krueng Peusangan terletak antara 5.27839 – 4.51068 Lintang Selatan dan 96.4509 - 97.0476 Bujur Timur. Luas DAS Krueng Peusangan adalah 2268.4 km² yang mencakup empat kabupaten: bagian hulu di kabupaten Aceh Tengah, bagian tengah di kabupaten Bener Meriah dan bagian hilir di kabupaten Bireun dan Aceh Utara (Gambar 9). DAS Krueng Peusangan terdiri dari 11 sub-DAS dan Danau Laut Tawar (5887 m²) terletak di bagian hulu DAS.



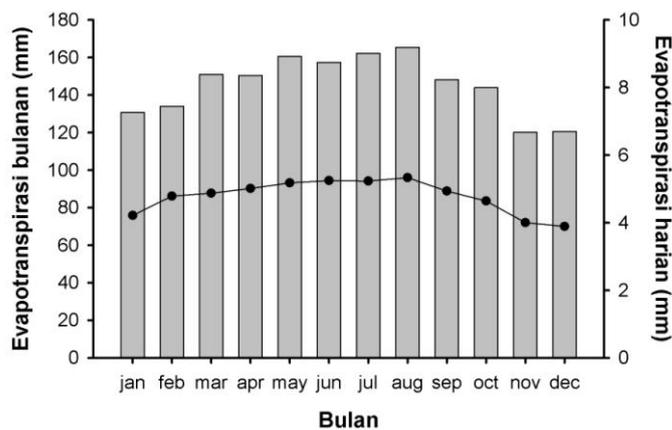
Gambar 9. Lokasi kajian DAS Krueng Peusangan

Berdasarkan data curah hujan www.worldclim.com periode 1950 – saat ini, curah hujan tahunan DAS Krueng Peusangan bervariasi antara 1848 – 2055 mm thn⁻¹ (Gambar 10). Curah hujan tersebar dengan puncak musim hujan pada bulan Oktober – Januari dan musim kemarau terjadi pada bulan Juni – Agustus. Rata-rata bulanan potensial evapotranspirasi disajikan pada Gambar 11 dengan total 1743 mm thn⁻¹.

Tipe tanah DAS Krueng Peusangan antara lain Alfisols, Entisols, Inceptisols, Ultisols, and Mollisols. Ultisols dan Inceptisols merupakan dua tipe tanah yang dominan di semua sub-DAS.



Gambar 10. Pola curah hujan bulanan DAS Krueng Peusangan (www.worldclim.com)



Gambar 11. Evapotranspirasi bulanan dan harian DAS Krueng Peusangan

3.1.2 Karakteristik masyarakat

Perspektif masyarakat terhadap fungsi DAS dan masalah hidrologi berbeda antara satu lokasi dengan lokasi lainnya. Perspektif masyarakat berkaitan dengan kondisi fisik lingkungan, karakteristik sosial budaya maupun sejarah desa.

Pembagian kelompok masyarakat menjadi tiga kategori (Tabel 13) ditujukan untuk mendapatkan gambaran perspektif masyarakat terhadap fungsi DAS dan masalah hidrologi yang lebih komprehensif. Masyarakat hulu (suku Gayo) terdiri dari: (1) masyarakat yang tinggal disepanjang sungai dan (2) masyarakat yang tinggal di sekitar danau Laut Tawar; dan (3) masyarakat yang tinggal dibagian hilir - bagian tengah DAS (suku Aceh).

Masyarakat hilir dan tengah mengusahakan sistem sawah irigasi dan sistem kebun campuran. Komoditas utama kebun campuran adalah kelapa (*Cocos nucifera*), kelapa sawit (*Elais guinensis*) dan pohon buah-buahan (Tabel 14). Masyarakat hulu mengusahakan sistem kebun campuran multistrata dengan pinang (*Areca catechu*), kopi (*Coffee sp.*) dan coklat (*Theobroma cacao*) sebagai pohon utama dikombinasikan dengan beberapa pohon buah-buahan. Lamtoro (*Leucaena leucocephala*), pete (*Parkia perkinensis*), alpukat (*Persea americana Mill*), terong belanda (*Cyphomadra betake*) dan cabai (*Capsicum sp.*) merupakan pohon-pohon dan tanaman yang dikombinasikan dengan sistem kopi di sekitar danau Laut Tawar.

Sawah irigasi dengan dua kali musim tanam dalam satu tahun di seluruh sub-DAS merupakan sumber penghidupan yang penting baik untuk memenuhi kebutuhan sendiri maupun untuk dijual. Pada beberapa daerah di hilir, khususnya dekat dengan 'kuala' atau muara, sistem tambak dengan hasil utama udang windu (*Penaeus monodon*), bandeng (*Chanos chanos Forskal*) dan nila (*Oreochromis sp.*) lebih banyak ditemukan bila dibandingkan sistem sawah irigasi.

Tabel 13. Karakteristik masyarakat DAS Krueng Peusangan

	Hilir - Tengah	Hulu (sepanjang sungai)	Hulu (sekitar danau laut tawar)
Wilayah	Kota Lhokseumawe, Kabupaten Bireun, Kabupaten Aceh Utara	Kabupaten Bener Meriah	Kabupaten Aceh Tengah
DAS terkait	Krueng Peusangan Krueng Mane	Krueng Peusangan, Krueng Jambo Aye, Krueng Pase, Krueng Mane dan Krueng Keureutoe	Krueng Peusangan
Karakteristik masyarakat	Masyarakat petani dan nelayan	Masyarakat petani (kebun campuran)	
Sumber pendapatan	- Produksi padi (dua kali per tahun) - Produksi kelapa - Ikan air tawar (pemuahan kebutuhan sendiri), ikan laut (untuk dijual)	- Produksi padi (dua kali per tahun) - <i>Pinang</i> - Produksi kopi dan coklat	- Produksi padi dan tanaman semusim yang lain (dua kali per tahun) - Produksi kopi arabica
Penggunaan lahan	- Kebun campuran: kelapa, kelapa sawit dan pohon buah-buahan - Sistem sawah irigasi	- Pekarangan dan kebun campuran: <i>Pinang</i> - Kopi agroforest - Coklat agroforest - Sistem sawah irigasi	- Kopi agroforest (degan lamtoro, alpukat, pete) - Sistem sawah irigasi
Vegetasi riparian	Bambu, rumput, waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i> L), Jaloh (<i>Salix tetrasperma</i> Roxb)	Rumput, waru	Padi, kopi dan tembakau (<i>Nicotiana tabacum</i>)
Suku	Aceh	Gayo	Gayo
Sumber air	Air tanah dan air sungai		

Tabel 14. Sistem penggunaan lahan disepanjang sungai di daerah hilir – tengah DAS Krueng Peusangan



Penggunaan lahan	Sawah irigasi	Pemukiman, kebun campuran	Kebun campuran	Tambak	Sungai
Sumber air	Irigasi teknis, Irigasi semi teknis dari sungai	Sungai, air tanah	Sungai	Irigasi teknis	Irigasi sederhana
Vegetasi	Padi	Holtikultur	Kelapa, pisang, kaliandra, singkong, buah-buahan, pinang		Vegetasi riparian, bambu, waru, jaloh
Kepemilikan lahan	Individu	Individu	Individu	Individu	-
Fauna	Burung, tikus	Tupai, tikus, burung	Tupai	Udang windu, bandeng, kepiting dan ikan nila	Ikan

Budidaya ikan dengan keramba merupakan sumber pendapatan utama baik bagi sebagian masyarakat yang tinggal di daerah tengah – hulu DAS Krueng Peusangan maupun masyarakat

yang tinggal disekitar danau Laut Tawar (Tabel 15). Hampir 40% masyarakat yang tinggal di wilayah tersebut menggantungkan hidupnya pada sektor perikanan baik budidaya ikan di sungai maupun di danau Laut Tawar.

Ikan Kawan (*Poropuntius tawarensis*), peres (*Osteochilus kahayensis*), mud (*Clarias batrachus*), pedih (*Neolissochilus sp*), gegaring (*Tor sp*) dan depik (*Rasbora tawarensis*) merupakan beberapa spesies ikan lokal yang umum ditemukan di danau Laut Tawar. Populasi ikan Depik yang mengalami penurunan beberapa tahun terakhir menyebabkan spesies ini menjadi terancam punah. Pada tahun 1996, IUCN memasukkan depik dalam daftar merah pada kategori species yang “rentan”. Lele dumbo (*Clarias gariepinus*), ikan mas (*Cyprinus carpio*), mujair (*Oreochromis mossambicus*), nila (*O. niloticus*) dan grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) (Muchlisin, 2008) merupakan species baru yang dibudidayakan dengan menggunakan keramba dan kolam tancap.

Table 15. Sistem penggunaan lahan disekitar danau Laut Tawar



Penggunaan lahan	Hutan pinus	Kebun campuran	Pemukiman, pekarangan	Sawah irigasi, tanaman semusim	Danau
Sumber air	-	Air hujan	Sungai, air tanah	Sungai	
Vegetasi	Pinus	Kopi, tembakau, alpukat, pete, rambutan, karet dan durian	Hortikultur	Padi, sayur, singkong	
Topografi	30 – 45 derajat	30 – 45 derajat		Datar	
Kepemilikan lahan	Pemerintah	Tidak jelas	Individu	Individu	
Fauna	Tupai	Tupai	Tikus	Tikus	Depik, pedih, gabus, lele

3.2 Kajian Pengetahuan Ekologi dan Analisa Pemangku Kepentingan

3.2.1 Pengetahuan ekologi dan perspektif masyarakat terhadap permasalahan hidrologi

Kajian pengetahuan ekologi memberikan gambaran mengenai pentingnya fungsi DAS dan permasalahan hidrologi untuk setiap kelompok masyarakat yang berbeda. Baik masyarakat hulu maupun hilir berpendapat bahwa sungai merupakan sumber daya yang penting tidak hanya sebagai sumber air minum dan memasak, sumber air irigasi untuk sawah, tetapi juga sebagai sumber mata pencaharian (produksi ikan) (Tabel 16). Sebagian besar masyarakat lokal yang tinggal di sekeliling danau laut Tawar memanfaatkan danau untuk budidaya ikan (keramba maupun kolam ikan) dan dalam batas tertentu untuk mengairi sawah mereka.

Permasalahan hidrologi yang dihadapi oleh masyarakat dan solusi yang mungkin berdasarkan pengetahuan dan perspektif lokal digali dalam proses diskusi terfokus. Masyarakat hulu berpendapat bahwa menurunnya debit sungai dan sedimentasi merupakan isu hidrologi penting yang harus diselesaikan (Tabel 17). Masyarakat disekitar danau Laut Tawar berpendapat bahwa sedimentasi merupakan masalah utama.

Tabel 16. Pengetahuan ekologi dan perspektif masyarakat lokal mengenai fungsi DAS Krueng Peusangan

Fungsi	Sungai			Danau Laut Tawar
	Hilir	Tengah	Hulu	
Padi sawah – air irigasi	****	****	****	***
Kolam ikan – sistem tata air	***	**	****	****
Pembuangan limbah	*	**	**	*
Air untuk konsumsi	****	***	****	**
Air untuk sanitasi	***	***	****	*
Galian C – penambangan pasir	****	****		
Perikanan	****	***	**	***
Transportasi	*	*		
Pariwisata	*	*		***

Catatan: bintang menunjukkan tingkat pentingnya masing-masing fungsi DAS

Tabel 17. Pengetahuan ekologi dan perspektif masyarakat lokal mengenai permasalahan hidrologi DAS Krueng Peusangan

Permasalahan utama	Sungai			Danau Laut tawar
	Hilir	Tengah	Hulu	
Abrasi	****	****	*	
Banjir	****	****	*	
Berkurangnya aliran air sungai	*	*	****	*
Keragaman hayati	**	**	**	**
Berkurangnya kualitas air	**	**	***	***
Sedimentasi	**	**	***	***

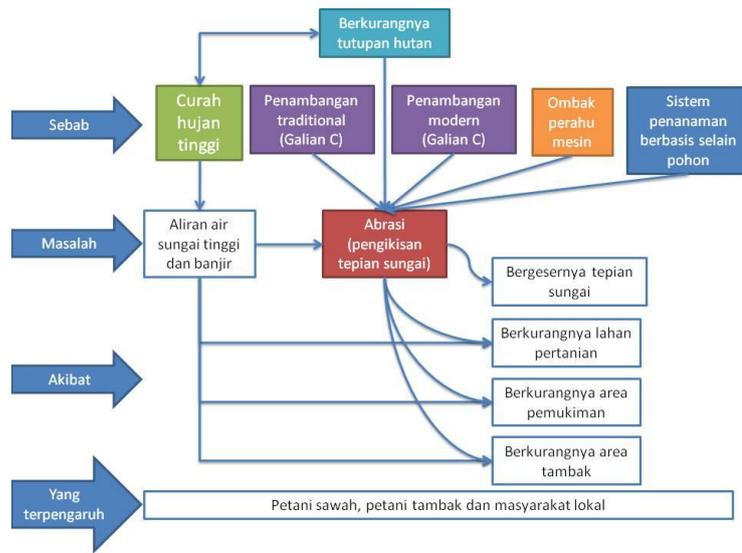
Catatan: bintang menunjukkan intensitas masalah di setiap wilayah

Erosi (abrasi) di sepanjang sungai Peusangan

Runtuhnya tebing sungai di bagian hilir DAS Krueng Peusangan menggeser tepian sungai. Pemukiman, lahan pertanian maupun tambak yang terletak di sepanjang tepi sungai terkena dampak abrasi. Di Desa Mon Kelayu (Gandapura) abrasi mencapai 30 meter dari tepi sungai (<http://www.rapi0107.org/cetak.php?id=171>). Pada diskusi bersama masyarakat Bireun permasalahan ini juga disebutkan. Di Desa Krueng Beukah, Lhung Kuli dan Cebrek, kecamatan Peusangan Selatan, 40 ha lahan pertanian menghilang menjadi perairan (<http://www.serambinews.com/news/view/21165/abrasi-krueng-peusangan-meluas>).

Banjir dengan intensitas yang tinggi menyebabkan erosi dan abrasi. Masyarakat lokal berpendapat bahwa intensitas kejadian banjir meningkat semenjak tutupan hutan di hulu berkurang dan dikonversi menjadi tipe tutupan lahan yang lain (Gambar 12). Intensitas kejadian abrasi meningkat seiring dengan menurunnya vegetasi penutup dan menurunnya stabilitas tanah

di daerah riparian. Peranan pohon di daerah riparian sangat penting untuk menstabilkan tepian sungai.



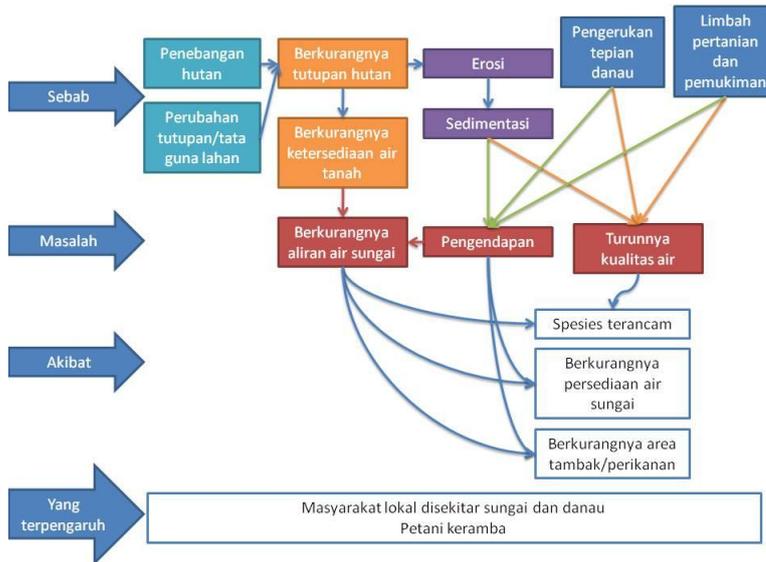
Gambar 12. Perspektif masyarakat lokal tentang sebab dan akibat abrasi

Vegetasi riparian di DAS Peusangan

Waru atau Siron (*Hibiscus tiliaceus L.*), bambu dan jaloh (*Salix tetrasperma Roxb*) merupakan spesies-spesies yang secara ekologi diyakini mampu mengurangi dampak erosi/abrasi tepian sungai. Jaloh dan Siron yang telah mencapai fase pertumbuhan dengan tajuk tertutup mempunyai akar serabut yang kuat yang mampu mencengkeram tanah. Habitat alami dari kedua spesies ini adalah di tepian sungai. Akan tetapi, saat kejadian atau aliran sungai dengan intensitas tinggi, di daerah dimana tanaman waru atau siron masih kecil, peranan ‘bronjong’ sangat penting untuk melindungi runtuhnya tepian sungai.

Penurunan debit sungai di sungai Peusangan dan pengendapan di danau Laut Tawar

Degradasi hutan dan konversi hutan menjadi tipe tutupan lahan lain di hulu DAS Krueng Peusangan tidak hanya mempunyai pengaruh pada erosi atau abrasi, tetapi juga penurunan kuantitas debit sungai selama musim kemarau dan pengendapan di Danau Laut Tawar. Industri perikanan baik yang menggunakan keramba atau kolam tancap dan masyarakat nelayan sangat terpengaruh secara signifikan (Gambar 13).



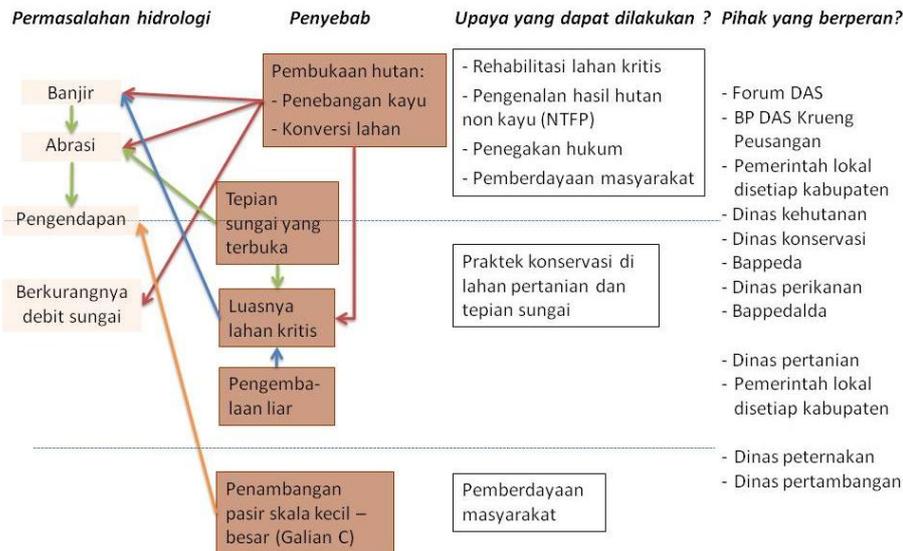
Gambar 13. Perspektif masyarakat lokal tentang sebab dan akibat berkurangnya aliran air sungai/debit, pengendapan dan menurunnya kualitas air

3.2.2 Pengetahuan pemangku kepentingan terhadap permasalahan hidrologi

Penggalian perspektif pemangku kepentingan terhadap permasalahan hidrologi didapatkan dari hasil wawancara dengan dinas kehutanan dan dinas pertanian di tingkat kabupaten (Aceh Tengah) ditingkat propinsi. Selanjutnya perspektif pemangku kepentingan dianalisa dengan menggabungkan informasi yang diperoleh dari hasil kajian literatur. Dokumen dari workshop ‘kerjasama dan pengelolaan DAS Krueng Peusangan secara berkelanjutan’ di Takengon pada 25 Maret 2008 juga merupakan sumber informasi yang menjadi dasar analisa perspektif pemangku kepentingan terhadap permasalahan hidrologi.

Hasil wawancara dengan beberapa pemangku kepentingan di daerah hilir dan tengah memberikan gambaran bahwa DAS Krueng Peusangan mempunyai peran penting tidak hanya dari sektor ekonomi, pertanian (irigasi), penyedia air bersih namun juga menyediakan fungsi ekologi bagi masyarakat yang tinggal di sepanjang sungai Peusangan. Perspektif pemangku kepentingan terhadap permasalahan hidrologi serupa dengan perspektif masyarakat lokal, yaitu abrasi, erosi, banjir dan sedimentasi.

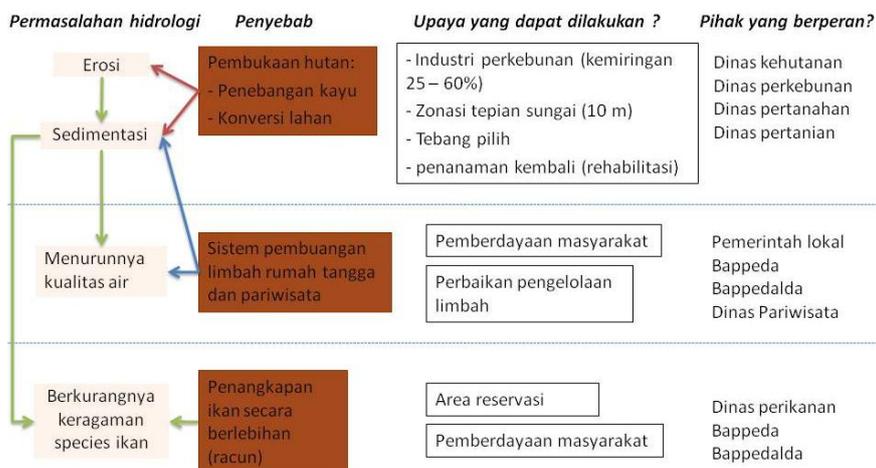
Aktivitas pembukaan hutan baik dalam skala kecil maupun luas merupakan faktor utama penyebab permasalahan (Gambar 14). Isu penting lain yang disebutkan oleh dinas kehutanan adalah sistem penggembalaan (sapi) liar yang umum dilakukan di Pidie, Bireun, Aceh Utara, Aceh Tengah (Takengon) dan penggembalaan (kerbau) liar di daerah Pidie, Aceh Tengah, Aceh Utara dan Bener Meriah (Bandar). Penggembalaan liar menyebabkan melonggarnya struktur tanah sehingga tanah mudah tererosi.



Gambar 14. Perspektif pemangku kepentingan tentang permasalahan hidrologi dan faktor penyebab permasalahan di hilir – tengah DAS Krueng Peusangan

Di danau Laut Tawar, sedimentasi merupakan masalah utama yang dirasakan baik oleh sebagian besar pemangku kepentingan maupun masyarakat lokal (Gambar 15). Sedimentasi merupakan penimbunan material-material yang terbawa ke dalam danau melalui proses erosi. Banyaknya sedimentasi di danau Laut Tawar belum diukur, tetapi fenomena sedimentasi di danau Laut Tawar tersebut dapat dilihat dari perubahan permukaan danau, kekeruhan, kandungan Lumpur dan kedalaman danau.

Menurunnya kualitas air danau juga merupakan masalah utama yang menjadi bahan perdebatan kalangan para pemangku kepentingan yang peduli danau Laut Tawar. Beberapa faktor yang diidentifikasi sebagai penyebab menurunnya kualitas air adalah limbah rumah tangga, hotel dan tempat peristirahatan; bahan kimia dan pupuk yang digunakan oleh kegiatan pertanian; makanan ikan/pellet dengan kandungan protein tinggi dalam budidaya ikan dan racun penangkap ikan merupakan sumber-sumber polutan.



Gambar 15. Perspektif pemangku kepentingan tentang permasalahan hidrologi dan faktor penyebab permasalahan di sekitar danau Laut Tawar dan hulu DAS Krueng Peusangan

3.3 Analisa Data Iklim dan Data Hidrologi

3.3.1 Analisa data curah hujan

Data curah hujan harian yang mencakup DAS Krueng Peusangan dibangkitkan dari data rata-rata bulanan (www.worldclim.com) dan data curah hujan harian dari stasiun Meteorologi Kelas III Lhokseumawe, Bandara Malikussaleh, dengan menggunakan simulasi hujan (*Rainfall Simulator model*) sehingga menghasilkan data prediksi yang sangat baik (Tabel 20).

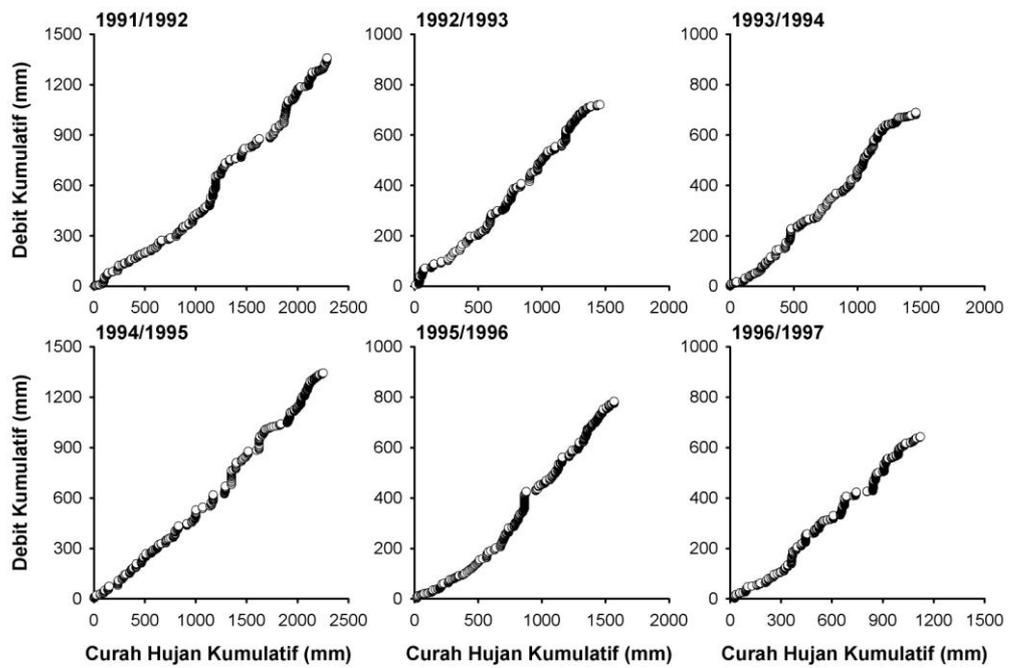
3.3.2 Analisa data curah hujan – debit sungai

Tiga macam analisis konsistensi data curah hujan - debit sungai dengan menghitung total evapotranspirasi, membuat grafik kumulatif Q terhadap kumulatif P dalam satu tahun, membuat grafik kestabilan aliran (*flow persistence*) hari ini (Q_{i+1}) terhadap aliran hari sebelumnya (Q_i) memberikan hasil yang konsisten (Tabel 18, Gambar 16 dan 17). Ketiga proses analisa tersebut menghasilkan kualitas data hujan - debit sungai yang baik kecuali pada tahun 1996/1997. Total evapotranspirasi dan koefisien korelasi tahun 1996/1997 berturut – turut dibawah 500 mm dan 0.5 (Tabel 18). Hal ini juga tercermin dari grafik kumulatif hujan - debit sungai yang menunjukkan perubahan kemiringan yang besar dan grafik kestabilan aliran hari ini (Q_{i+1}) terhadap aliran hari sebelumnya (Q_i) (Gambar 16 dan 17).

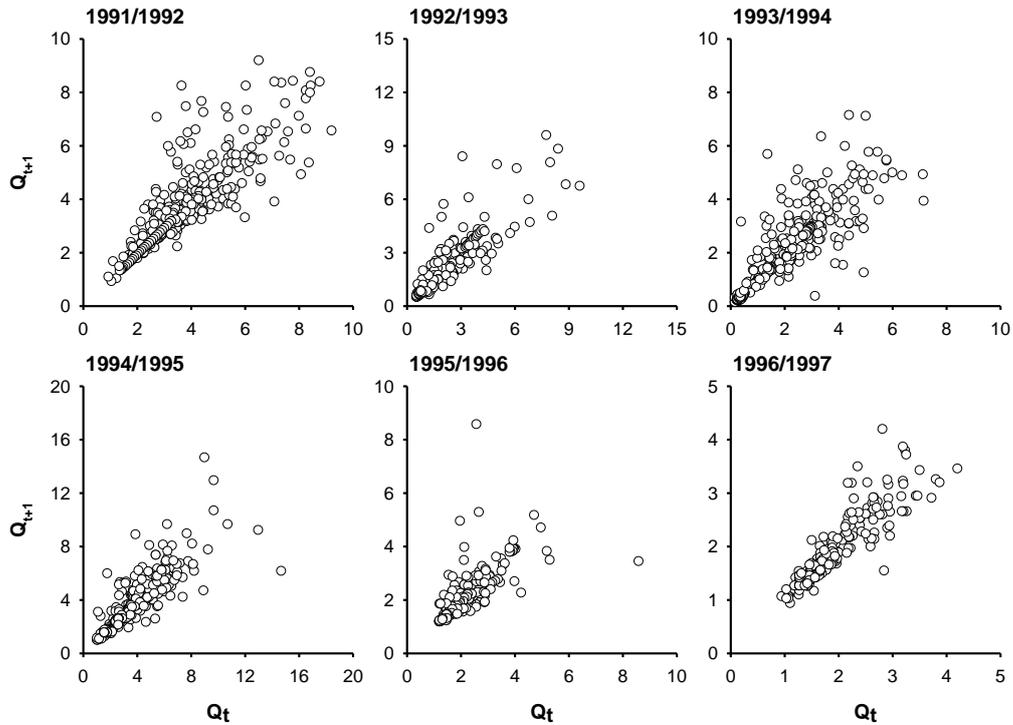
Tabel 18. Analisa data curah hujan – debit sungai, $\sum P - \sum Q$

Tahun	Curah hujan (P), mm	Debit sungai (Q), mm	$\sum P - \sum Q$
1991/1992	2289	1358	931
1992/1993	1458	720	737
1993/1994	1459	689	770
1994/1995	2251	1343	908
1995/1996	1568	783	784
1996/1997	1121	642	478

Note: Data hujan merupakan data curah hujan prediksi



Gambar 16. Kurva double mass, curah hujan kumulatif – debit sungai kumulatif.



Gambar 17. Grafik kestabilan aliran (*flow persistence*) debit hari ini (Q_{i+1}) vs debit hari sebelumnya (Q_i).

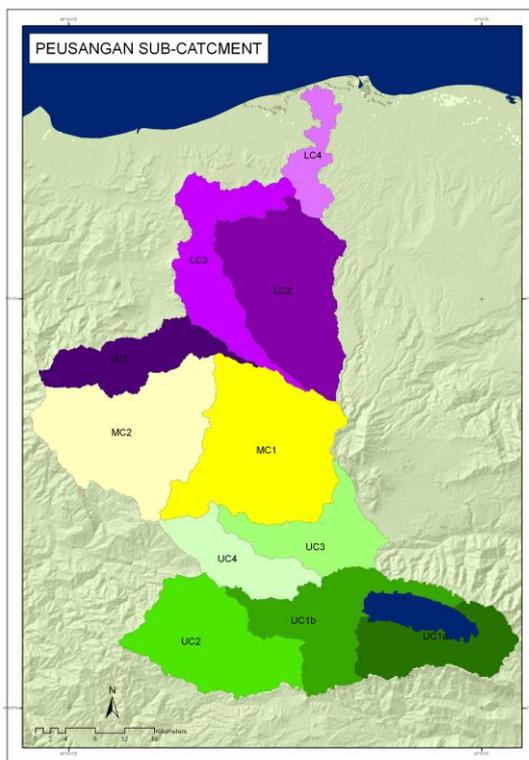
Tabel 19. Data curah hujan bulanan (1991 - 2009) hasil prediksi model rainfall simulator

Tahun	Bulan												Koefisien korelasi		Bias (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1991	164.0	0.0	144.9	176.4	306.0	41.2	91.1	62.6	116.6	247.4	375.6	312.3	0.84	Satisfactory	10.26	Good
1992	202.8	58.5	50.5	213.1	368.1	119.6	79.6	115.4	146.3	81.7	351.2	171.0	0.41	Unsatisfactory	5.91	Very Good
1993	133.0	41.7	188.6	107.4	114.3	54.6	48.0	29.2	137.0	157.8	199.3	169.1	0.88	Satisfactory	25.34	Unsatisfactory
1994	168.6	230.1	124.7	78.3	90.7	62.4	29.4	11.5	137.1	277.5	201.6	127.7	0.62	Satisfactory	16.70	Satisfactory
1995	217.1	244.5	282.3	272.1	285.0	63.0	75.6	77.4	127.4	215.7	208.3	271.6	0.69	Satisfactory	26.59	Unsatisfactory
1996	86.5	80.2	2.3	242.1	54.3	165.2	70.1	81.1	90.3	207.3	152.8	84.9	0.21	Unsatisfactory	28.75	Unsatisfactory
1997	53.6	58.2	106.4	75.4	105.6	64.1	14.1	71.7	126.8	265.1	326.7	161.8	0.77	Satisfactory	22.67	Satisfactory
1998	157.9	266.9	170.2	206.7	105.5	149.7	89.5	60.4	112.3	331.5	276.7	290.4	0.72	Satisfactory	19.98	Satisfactory
1999	199.6	164.6	125.6	110.7	177.5	58.7	54.0	59.8	189.2	295.6	173.6	236.4	0.82	Satisfactory	0.17	Very Good
2000	398.4	69.6	169.8	180.8	93.9	67.4	119.1	79.0	115.2	351.1	228.9	324.1	0.77	Satisfactory	18.88	Satisfactory
WorldClim	174.8	117.4	164.0	166.1	154.6	79.3	78.9	92.7	147.1	213.1	225.1	235.1				
2001	239.6	169.1	177.3	169.2	193.5	69.1	22.3	99.5	86.6	351.7	216.0	241.3	0.90	Satisfactory	1.00	Very Good
2002	332.5	85.0	156.8	21.2	42.5	41.4	77.5	20.3	48.7	429.3	313.6	266.7	0.78	Satisfactory	10.72	Good
2003	296.5	116.1	181.5	98.7	114.9	92.3	80.2	63.1	205.0	288.9	225.1	274.5	0.85	Satisfactory	0.92	Very Good
2004	150.6	128.6	126.4	142.3	184.6	105.5	54.6	84.6	109.3	155.0	228.0	253.9	0.80	Satisfactory	16.17	Satisfactory
2005	215.2	166.8	264.1	255.8	73.6	67.2	58.5	131.0	173.1	192.2	198.7	265.6	0.71	Satisfactory	0.29	Very Good
2006	242.7	134.1	217.3	147.5	140.5	126.2	86.6	84.0	88.1	173.8	181.1	219.5	0.76	Satisfactory	10.44	Good
2007	190.0	142.4	95.4	134.0	85.0	132.0	58.6	127.4	117.3	363.2	244.1	347.3	0.76	Satisfactory	0.93	Very Good
2008	128.7	188.7	273.4	226.3	179.4	91.1	67.1	205.0	208.5	366.5	229.9	202.1	0.70	Satisfactory	15.11	Satisfactory
2009	234.5	120.4	355.4	76.0	201.6	32.7	23.0	56.5	39.4	354.2	141.9	182.1	0.75	Satisfactory	11.59	Good
WorldClim	201.3	131.8	193.6	176.7	180.7	101.9	92.0	114.0	163.1	247.4	215.1	238.0				

3.4 Analisa Spasial: Tutupan Lahan/Perubahan Tutupan Lahan dan Karakteristik DAS

3.4.1 Batas DAS dan sub-DAS Krueng Peusangan

Hasil analisa data topografi menunjukkan bahwa DAS Krueng Peusangan terdiri dari 11 sub-DAS. Berdasarkan ketinggian wilayah, sub-DAS dapat dikelompokkan menjadi bagian hulu DAS (lima sub-DAS/UC), bagian tengah DAS (dua sub-DAS/MC) dan bagian hilir DAS (empat sub-DAS/LC) (Gambar 18). Lebih dari 69% dari total area DAS Krueng Peusangan terletak di daerah dengan elevasi tinggi. Luasan dan proporsi dari masing-masing sub-DAS disajikan dalam Tabel 20.



Gambar 18. Batas DAS dan sub-DAS Krueng Peusangan

Tabel 20. Luas sub-DAS Krueng Peusangan

Sub-DAS	Luas (ha)	Proporsi
LC1	13,570.0	6%
LC2	30,551.0	13%
LC3	18,561.2	8%
LC4	6,723.1	3%
MC1	36,217.1	16%
MC2	32,473.5	14%
UC1atas	19,799.5	9%
UC1bawah	19,239.4	8%
UC2	23,935.1	11%
UC3	13,742.9	6%
UC4	12,035.7	5%