PENILAIAN TINGKAT KERENTANAN SUMBER DAYA AIR TERHADAP VARIABILITAS IKLIM DI DAS AESESA, PULAU FLORES, NUSA TENGGARA TIMUR

(*Vulnerability Assessment of Water Resources to Climate Variability in Aesesa Watershed, Flores Island, Nusa Tenggara Timur*)

Eko Pujiono & Retno Setyowati
Balai Penelitian Kehutanan Kupang, Jln. Untung Suropati No. 7 (Belakang)
P.O BOX 69 Kupang 85115 NTT, Indonesia
e-mail: ekopujiono78@gmail.com

Diterima 18 Desember 2014, direvisi 15 Juli 2015, disetujui 13 Agustus 2015

ABSTRACT

This study aimed to assess the level of vulnerability of water resources on the climate variability of Aesesa Watershed, NTT Province. Vulnerability assessments using IPCC concept, where the vulnerability as a function of exposure, sensitivity and adaptive capacity. Criteria and indicators of those function were obtained from previous studies, then given a score and weighting in accordance with the degree of importance, spatially display and overlay, to produce vulnerability map. The results showed that the trend of annual temperature in the upper watershed in recent years is decreased, while in the middle and lower areas are increased. The annual precipitation showed an increasing trend in the upper area, while in the middle and lower areas showed a declining trend. Related to water resources, the river's stream flows are relatively stable in the last five years. Water quality assessment in the river is categorized as lightly polluted in the upstream and moderately polluted in the downstream. Based on vulnerability map, the watershed is classified into highly vulnerable (54%), moderately vulnerable (13%) and lowly vulnerable (33%). Such results could be useful for the Watershed Authority and other stakeholders to establish strategies, plans and actions for addressing problems on vulnerability of water resource.

Keywords: Vulnerability assessment, water resources, climate variability, watershed

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerentanan sumber daya air terhadap variabilitas iklim di DAS Aesesa Provinsi NTT. Penaksiran kerentanan menggunakan konsep IPCC, dimana kerentanan merupakan fungsi dari keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas adaptif. Kriteria dan indikator keterpaparan, sensitivitasdan kapasitas adaptif didapatkan dari kajian terdahulu. Kriteria dan indikator kemudian diberikan skor dan bobot sesuai derajat kepentingannya dan disajikan secara spasial serta dilakukan *overlay* untuk mendapatkan peta kerentanan. Hasil menunjukkan bahwa tren suhu tahunan di hulu DAS dalam beberapa tahun terakhir mengalami penurunan, sedangkan di bagian hilir mengalami kenaikan. Sementara indikator curah hujan tahunan, di daerah hulu DAS menunjukkan tren kenaikan, sedangkan di daerah tengah dan hilir tren menurun.Terkait dengan kuantitas air, Sungai Aesesa, sungai utama di DAS Aesesa mempunyai debit yang relatif sama selama lima tahun terakhir. Kualitas air di Sungai Aesesa dikategorikan cemar ringan di hulu dan cemar sedang di hilir dalam beberapa tahun terakhir . Peta kerentanan menunjukkan bahwa sekitar 54% wilayah DAS memiliki tingkat kerentanan tinggi, 13% diklasifikasikan ke tingkat kerentanan sedang dan 33% dikategorikan ke tingkat kerentanan rendah. Hasil kajian ini bisa bermanfaat bagi pengelola DAS, atau pemangku kepentingan lainnya untuk menyusun strategi, rencana dan aksi dalam menanggulangi masalah kerentanan sumber daya air.

Kata kunci: penilaian kerentanan, sumber daya air, variabilitas iklim, DAS.

I. PENDAHULUAN

Kajian yang dilakukan oleh Faqih (2011) menyatakan bahwa berdasarkan analisis data suhu udara selama sekitar 40 tahun terakhir, suhu udara tahunan rata-rata di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) cenderung naik sebesar 0,20°C. Skenario variabilitas iklim memperkirakan bahwa temperatur akan terus meningkat antara 1,30°C sampai dengan 4,60°C pada tahun 2100 dengan tren sebesar 0,10°C –0,40°C per tahun (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, 2007). Peningkatan suhu ini akan diikuti oleh peningkatan evapotranspirasi dan memberikan efek langsung terhadap keseimbangan

siklus hidrologi dan ketersediaan air (Gain *et al*., 2012; Swandayani, 2010; *The Energy and Resources Institute*-TERI, 2009). Meningkatnya suhu global akan menyebabkan intensifikasi siklus hidrologi, sehingga musim kering menjadi semakin kering dan musim hujan menjadi semakin basah, yang kemudian meningkatkan risiko terjadinya banjir dan kekeringan (Water aid, 2007).

Secara umum wilayah NTT termasuk ke dalam kategori iklim semiarid, dimana periode hujan hanya berlangsung 3-4 bulan dan periode kering 8-9 bulan (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah-Bappeda NTT, 2009). Potensi hidrologi di wilayah propinsi NTT, terutama air permukaan, tergolong kecil. Disisi lain, laju pertumbuhan penduduk NTT sebesar 2% (pada periode 2000-2010) mengindikasikan bahwa permintaan akan air akan semakin meningkat. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) dalam laporannya menyebutkan bahwa bahwa neraca keseimbangan air di region Nusa Tenggara diklasifikasikan pada tingkat kritis (Bappenas, 2010).

Dokumen *Roadmap* Perubahan Iklim (*Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap-ICCSR)* sektor sumber daya air yang disusun oleh Bappenas menyatakan bahwa terdapat beberapa risiko/bahaya pada sektor sumber daya air yang disebabkan oleh variabilitas iklim, yaitu: penurunan ketersediaan air (PKA), banjir, kekeringan, tanah longsor dan kenaikan permukaan laut (Bappenas, 2010). Dokumen Bappenas ini sejalan dengan fakta yang terjadi di NTT, dimana pada tahun 2012, Badan Ketahanan Pangan NTT menyatakan bahwa, sebanyak 403 desa yang tersebar di 136 kecamatan di 11 kabupaten di NTT dilanda kekeringan sehingga terancam rawan pangan (Tempo, 2012; Kompas, 2012). Bencana lainnya adalah banjir bandang di Bena Kabupaten Belu pada tahun 2000, tanah longsor di pulau Flores pada tahun 2006 (Sakeng, 2008; Putro, 2007) dan terendamnya beberapa desa di Kabupaten Malaka pada tahun 2013 sebagai akibat dari intensitas hujan yang tinggi di bulan Juni yang harusnya sudah memasuki musim kemarau (Tempo, 2013; Kompas, 2013).

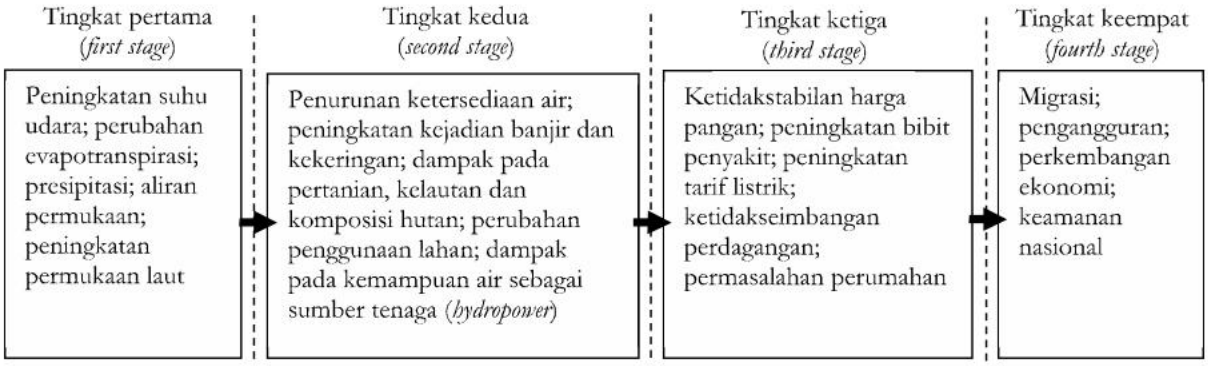
Dalam rangka menambah dan melengkapi informasi terkait dampak dan risiko bencana yang disebabkan oleh perubahan/variabilitas iklim dan cuaca ekstrem, perlu dilakukan kajian kerentanan terhadap variabilitas iklim. Penilaian kerentanan dapat dimanfaatkan sebagai: (1) alat untuk memahami masalah dan faktor penyebab kerentanan: (2) alat perencanaan sebagai dasar penetapan prioritas kegiatan; (3) alat untuk pengukuran risiko; (4) alat untuk pemberdayaan dan mobilisasi kelompok masyarakat yang rentan (Benson *et.al*., 2007). Penilaian kerentanan sebenarnya sudah banyak dipublikasikan oleh beberapa peneliti dengan variasi metode dan lokasi kajian. Swandayani (2010), melakukan penelitian tentang kerentanan masyarakat terhadap variabilitas iklim di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung dengan menggunakan kriteria paparan indeks penggunaan air. Selanjutnya Rositasari *et al.* (2011) melakukan penelitian kerentanan terhadap variabilitas iklim di pesisir Cirebon dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Sementara Effendi (2012), melakukan penelitian berbasis DAS tentang kajian tingkat kerentanan masyarakat terhadap variabilitas iklim di DAS Garang, Jawa Tengah dengan pendekatan sistem informasi geografis (SIG). Untuk lingkup NTT, ada beberapa kajian tentang variabilitas iklim (Faqih, 2011; Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Benain Noelmina - BPDAS BN, 2011; Bappeda NTT, 2010), namun yang menyangkut kerentanan sumber daya air terhadap variabilitas iklim belum pernah dilakukan.

Kajian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerentanan sumber daya air terhadap variabilitas iklim. Secara rinci kajian akan difokuskan kepada (1) gambaran mengenai fenomena perubahan/variabilitas iklim dari analisis data klimatologis (suhu dan curah hujan); (2) gambaran mengenai kondisi sumber daya air; (3) gambaran mengenai tingkat kerentanan sumber daya air akibat perubahan/variabilitas iklim.

II. METODE PENELITIAN

A. Kerangka Teori, Konsep dan Pendekatan

Kerangka teori yang mendasari penelitian ini adalah hasil kajian para peneliti IPCC yang memperkirakan bahwa perubahan/variabilitas iklim yang ditandai dengan peningkatan suhu akan memberikan efek langsung siklus hidrologi dan ketersediaan air. Perubahan ini pada gilirannya akan menciptakan dampak/efek lain dengan tingkat yang lebih tinggi yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Sumber (*Source*) : Gain *et al.*(2012)

Gambar 1. Efek bertingkat/berurutan variabilitas iklim terhadap sumber daya air
Figure 1. Different stage/order climate variability effect on water resources.

Untuk mengetahui sampai sejauh mana risiko/bahaya dampak perubahan iklim terhadap sumber daya air perlu dilakukan penilaian kerentanan. Adger (2006) menyatakan bahwa konsep kerentanan, adaptasi dan resiliensi diawali dengan pemikiran tentang bahaya yang diakibatkan oleh alam (*natural hazard*) dan penyelidikan berbagai interaksi antara manusia-lingkungan (*human/ political ecology*). Sementara Bryant dan Bailey (1997) menyatakan bahwa kerentanan merupakan salah satu bentuk pendekatan dalam ekologi politik, dimana kerentanan diklasifikasikan sebagai salah satu bentuk pendekatan berdasarkan konsep (Gambar 2). Lebih lanjut, IPCC (2007), mendefinisikan kerentanan sebagai kondisi dimana alam dan sistem sosial rawan terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh perubahan/variabilitas iklim.

Penilaian kerentanan dalam penelitian ini menggunakan konsep kerentanan dari IPCC dengan alasan fokus kajian lebih kepada kerentanan yang disebabkan oleh perubahan/ variabilitas iklim. Lebih lanjut dinyatakan bahwa kerentanan, sebagaimana diformulasikan pada persamaan 1, merupakan fungsi dari tiga aspek: keterpaparan/*exposure*, sensitivitas/*sensitivity* dan kapasitas adaptif/*adaptive capacity* (IPCC, 2001). Keterpaparan dimaksudkan sebagai derajat suatu

Sumber (*Source*) : Bryant dan Bailey (1997)

Gambar 2. Beberapa pendekatan dalam ekologi politik
Figure 2. Different approaches to political ecology

sistem secara alamiah rentan terhadap variabilitas iklim. Sensitivitas dimaksudkan sebagai derajat atau tingkat suatu sistem terkena dampak sebagai akibat dari semua elemen variabilitas iklim. Kapasitas adaptif didefinisikan sebagai kemampuan satu sistem untuk menanggulangi konsekuensi dari variabilitas iklim atau menyesuaikan diri pada variabilitas iklim, mengurangi potensi kerusakan, atau mengambil keuntungan dari kondisi yang disediakan iklim yang berubah tersebut.

$$Vulnerability = f\ (Exposure + Sensitivity - Adaptive\ Capacity) \quad \ldots\ldots (1)$$

Sampai sejauh ini, konsep IPCC inilah yang paling banyak digunakan di seluruh dunia dalam penilaian kerentanan, baik untuk publikasi ilmiah ataupun laporan kegiatan lembaga (Hamouda, 2006; Swandayani, 2010; Bappenas, 2010; Rositasari *et al*.,2010; Effendi, 2012; Gain *et al*., 2012). Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) yang meluncurkan Sistem Inventarisasi Data Indeks Kerentanan (SIDIK) pada Juli 2014, pada dasarnya juga menggunakan konsep dan pendekatan IPCC untuk mendapatkan indeks kerentanan di suatu wilayah administrasi (KLH, 2014).

Terkait dengan penilaian kerentanan sumber daya air, pendekatan yang dilakukan adalah gabungan dari pendekatan secara kualitatif, kuantitatif dan spasial. Masing-masing komponen yang memengaruhi kerentanan, yaitu *exposure, sensitivity* dan *adaptive capacity* kemudian secara diterjemahkan dalam beberapa variabel dan indikator kerentanan sumber daya air yang didapatkan secara kualitatif dari observasi di lapangan, pendapat para ahli dan hasil kajian terdahulu. Kriteria dan indikator ini kemudian dikuantifikasikan dalam bentuk bobot dan skor untuk dihitung indeks kerentanannya. Indeks kerentanan pada masing-masing komponen kemudian di-*overlay* (pendekatan spasial) untuk menghasilkan peta kerentanan. Pendekatan penelitian secara rinci disajikan dalam prosedur/ tahap penelitian.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Kajian ini dilakukan di DAS Aesesa, Pulau Flores (Gambar 3). Beberapa alasan yang mendasari pemilihan lokasi: (1) DAS Aesesa merupakan salah satu DAS Prioritas I yang ada di Provinsi NTT, selain DAS Noelmina dan DAS Kambaneru, (2) Di daerah hulu, terdapat kawasan Cagar Alam Watu Ata dan hutan bambu yang merupakan *water catchment area* utama di Kabupaten Ngada dan Kabupaten Nagekeo. Penelitian dilaksanakan pada bulan April sampai Nopember 2013.

Sumber: Peta DAS - BPDAS Benain Noelmina (2012) dan Peta Batas Administrasi - Bappeda NTT (2010)
Sources: Watershed Map - BPDAS Benain Noelmina (2012) and Administration Map - Bappeda NTT (2010)

Gambar 3. Peta lokasi penelitian (DAS Aesesa).
Figure 3. Map of study area (Aesesa Watershed).

C. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan DAS sebagai unit analisis. Alasan digunakannya DAS sebagai unit analisis: (a) Pendekatan DAS lebih holistik dan dapat digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara faktor biofisik dan sosial ekonomi lebih cepat dan lebih mudah, (b) DAS mempunyai batas alam yang jelas di lapangan, (c) DAS mempunyai keterkaitan biogeofisik yang sangat kuat antara hulu dan hilir sehingga mampu menggambarkan perilaku air akibat perubahan karakteristik lanskap, (d) adanya suatu *outlet* dimana air akan terakumulasi, sehingga aliran air dapat ditelusuri.

Wilayah unit analisis DAS dibagi menjadi tiga region yakni hulu, tengah, dan hilir yang dibedakan berdasarkan tingkat kelerengan, fungsi kawasan dan kerapatan drainase (Asdak, 1997). Pada setiap region dipilih sampel penelitian berbasis desa untuk mengambil data yang berkaitan dengan aspek sosial ekonomi masyarakat, ketersediaan sumber daya air dan variabilitas iklim. Distribusi desa sampel didasarkan pada 2 karakteristik, yaitu: kedekatan dengan garis sungai dan kedekatan dengan fungsi hutan. Jumlah responden pada setiap desa berjumlah sekitar 10 orang informan kunci yang meliputi tokoh masyarakat dan petani yang mewakili mata pencaharian mayoritas di desa tersebut. Informan tersebut teridentifikasi sebagai *local knowledge expert* menurut Davis dan Wagner (2003).

D. Prosedur Penelitian

1. Pengamatan kecenderungan (*trend*) perubahan suhu udara dan curah hujan

Perubahan pola maupun *trend* suhu dan curah hujan akan dijadikan indikator untuk menilai terjadinya kejadian perubahan/variabilitas iklim di lokasi kajian. Data yang dikumpulkan adalah data numerik *time series*, berupa data suhu dan curah hujan selama kurang lebih 30 tahun terakhir. Data ini dikumpulkan dari berbagai sumber yaitu Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) NTT (terkait suhu udara) dan Dinas Pertanian Kabupaten (terkait data curah hujan) serta beberapa stasiun pengamat cuaca atau curah hujan yang terdekat dengan lokasi kajian. *Trend* perubahan suhu udara dan curah hujan rata-rata di analisis dengan analisis statistik (regresi) dengan mengacu kepada data *time series*. Sebagai alat verifikasi/validasi hasil analisis *trend* suhu dan curah hujan, dilakukan wawancara dan pengisian kuisioner terhadap masyarakat pada masing-masing region DAS terkait kecenderungan perubahan suhu dan curah hujan pada beberapa tahun terakhir.

2. Pengamatan kondisi sumber daya air di DAS Aesesa

Terkait dengan kondisi sumber daya air, dilakukan pengamatan dan pengumpulan data kuantitas dan kualitas sumber daya air secara *time series*. Data kuantitas (debit) dan kualitas air dikumpulkan dari pihak-pihak yang terkait, seperti: Kementerian Pekerjaan Umum (Kementerian PU), Dinas Pekerjaan Umum (Dinas PU), Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BP DAS) dan Badan Lingkungan Hidup Daerah (BLHD). Data tentang kualitas dan kuantitas air secara *time series* ini akan dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan sampai sejauh mana dampak variabilitas/variabilitas iklim terhadap sumber daya air. Sebagai alat verifikasi/validasi hasil analisis kondisi sumber daya air, dilakukan wawancara dan pengisian kuisioner terhadap masyarakat pada masing-masing region DAS terkait ketersedian dan kebutuhan sumber daya air pada beberapa tahun terakhir.

3. Penaksiran tingkat kerentanan sumber daya air terhadap variabilitas iklim

Tingkat kerentanan akan diukur dengan pendekatan berbasis spasial, dimana kriteria dan indikator variabilitas iklim disusun dalam bentuk spasial dengan bantuan sistem informasi geografis (SIG) untuk mendapatkan peta kerentanan. Tahap-tahap penyusunan peta kerentanan adalah sebagai berikut:

a. Penentuan kriteria dan indikator

Kriteria dan indikator paparan diperoleh dari beberapa referensi, terutama dari Bappenas (2010) tentang *Road map* variabilitas iklim Indonesia, Kementerian Lingkungan Hidup (2010) dan Effendi (2012) tentang kajian kerentanan masyarakat terhadap variabilitas iklim berbasis DAS di Jawa Tengah. Kriteria dan indikator yang digunakan dalam pendekatan spasial disajikan pada Tabel 1. Hasil akhir pada tahap ini adalah beberapa kriteria dan indikator yang semuanya dirubah dalam bentuk data spasial (peta). Dalam kajian ini data peta dirubah dalam bentuk raster data (*raster-based analysis*).

b. Pembobotan dan Skoring

Pemberian bobot dan skor (*weighting and scoring*) pada kriteria dan indikator yang telah ditetapkan dilakukan berdasarkan studi literatur/kajian terdahulu, pendapat para ahli dan wawancara dengan masyarakat. Bobot dan skor diberikan berdasarkan derajat kepentingan kriteria dan indikator tersebut terhadap kerentanan sumber daya air. Sebagai contoh untuk variabel keterpaparan dengan indikator kekritisan lahan, skor tertinggi diberikan untuk lahan yang sangat kritis, dan yang terendah diberikan untuk lahan yang tidak kritis. Hasil akhir pada tahap ini adalah skor pada masing-masing variabel, kriteria dan indikator lainnya (Tabel 1).

Tabel 1. Kriteria dan indikator penaksiran tingkat kerentanan sumber daya air terhadap variabilitas iklim
Table 1. Criteria and indicator used in vunerability assessment water resources to climate variability

Variabel/ *Variable*	Kriteria/ *Criteria*	Indikator/ *Indicator*	Kategori/ *Category*	Skor/ *Score*	Teknik/ Sumber Data *Data Collecting Technique/ Data Sources*
Paparan (*Exposure*)	Perubahan Kondisi DAS	Curah Hujan	<1.500 mm 1.500-2.500 mm >2.500 mm	Rendah (1) Sedang (3) Tinggi (5)	Data Curah Hujan (CH) BMKG-Dinas Pertanian Kab. Ngada dan Kab. Nagekeo 2011-2012
		Penutupan Lahan	Hutan Perkebunan Pertanian Savana Pemukiman	Rendah (1) Agak Rendah (2) Sedang (3) Agak Tinggi (4) Tinggi (5)	Peta Penutupan Lahan (Kementerian Kehutanan 2011)
		Kekritisan Lahan	Tidak Kritis Potensial Kritis Agak Kritis Kritis Sangat Kritis	Rendah (1) Agak Rendah (2) Sedang (3) Agak Tinggi (4) Tinggi (5)	Peta Lahan Kritis (Kementerian Kehutanan, 2010)
Sensitivitas (*Sensitivity*)	Permintaan Air	Kepadatan Penduduk (KP)	<Rata DAS =Rata DAS >Rata DAS	Rendah (1) Sedang (3) Tinggi (5)	KP = jumlah penduduk/luas wilayah (Badan Pusat Statistik (BPS) Kab. Ngada dan Kab. Nagekeo 2011-2012)
		Akses terhadap Air Bersih (AB)	0-20% 20-40% 40-60% 60-80% 80-100%	Rendah (1) Agak Rendah (2) Sedang (3) Agak Tinggi (4) Tinggi (5)	AB = (RT yang mendapat air bersih/ jumlah RT)*100 (BPS Kab. Ngada dan Kab. Nagekeo 2011-2012)
	Ketergantungan pada Lahan	Persentase masyarakat yang bergantung kepada pertanian (PP)	0-12,5% 12,5-25% 25-37,5% 37,5-50% >50%	Rendah (1) Agak Rendah (2) Sedang (3) Agak Tinggi (4) Tinggi (5)	PP =(jumlah penduduk bekerja pada pertanian/ jumlah penduduk yang bekerja)*100 (BPS dan BPDAS BN, 2012)
Kapasitas Adaptif (*Adaptive capacity*)	Kualitas Sumber Daya Manusia	Melek Huruf (MH)	<50% 50-75% >75%	Rendah (1) Sedang (3) Tinggi (5)	MH =(jumlah penduduk bisa baca/ jumlah Penduduk)*100 (BPS dan BPDAS BN, 2012)
		Perilaku Konservasi (PK)	0-20% 20-40% 40-60% 60-80% 80-100%	Rendah (1) Agak Rendah (2) Sedang (3) Agak Tinggi (4) Tinggi (5)	PK = (jumlah responden pelaku konservasi/ jumlah responden)*100 (Data survei dan wawancara, 2013)
	Sosial Ekonomi masyarakat	Tingkat Kesejahteraan Penduduk (TK)	<60% 60-70% 70-80% 80-90%	Rendah (1) Agak Rendah (2) Sedang (3) Agak Tinggi (4)	TK = (jumlah Rumah Tangga sejahtera 2 dan 3/ jumlah RT)*100 (BPS dan BPDAS BN, 2012)

Tabel 1. Lanjutan
Table 1. Continued

Variabel/ *Variable*	Kriteria/ *Criteria*	Indikator/ *Indicator*	Kategori/ *Category*	Skor/ *Score*	Teknik/ Sumber Data *Data Collecting Technique/ Data Sources*
			>90%	Tinggi (5)	
		Konflik (KO)	0-20%	Rendah (1)	KO = (jumlah konflik tidak teratasi/ jumlah konflik)*100 (Data survei & wawancara, 2013)
			20-40%	Agak Rendah (2)	
			40-60%	Sedang (3)	
			60-80%	Agak Tinggi (4)	
			80-100%	Tinggi (5)	
	Fasilitas Kesehatan	Fasilitas Kesehatan	Tidak ada	Rendah (1)	BPS Kab. Ngada dan Kab. Nagekeo 2011-2012
			Ada	Sedang (3)	
			Ada lengkap	Tinggi (5)	
	Daerah Resapan Air	Persentase Daerah Resapan Air (DR)	<20%	Rendah (1)	DR = (luas lahan selain areal terbangun dan terbuka/ luas region DAS)*100 (Peta Penutupan Lahan Kemeenterian Kehutanan, 2011)
			20-30%	Agak Rendah (2)	
			30-40%	Sedang (3)	
			40-50%	Agak Tinggi (4)	
			>50%	Tinggi (5)	

Sumber (*Source*) : Bappenas (2010), KLH (2010), Effendi (2012), Gain *et al.*(2012)

c. Penentuan indeks dan peta kerentanan

Penentuan indeks kerentanan dilakukan sesuai persamaan 2, yaitu dengan mengurangi indeks paparan dan kepekaan dengan indeks kemampuan adaptasi (Swandayani, 2010; Gain *et al*., 2012). Tahap ini dibantu dengan bantuan fitur *raster calculator* pada *software* ArcGIS 9.3. Hasil akhir ditampilkan dalam bentuk peta paparan, kepekaan, kapasitas adaptif, dan kerentanan.

$$K = (\sum_{ie=1}^{n}(w_{ie} \times x_{ie}) + \sum_{is=1}^{n}(w_{is} \times x_{is})) - (\sum_{ie=1}^{n}(w_{iac} \times x_{iac})) \quad .. (2)$$

Dimana:

K = *indeks kerentanan*
Wie = *bobot indikator ke-i pada variabel keterpaparan*
Xie = *skor indikator ke-i pada variabel keterpaparan*
Wis = *bobot indikator ke-i pada variabel sensitivitas*
Xies = *skor indikator ke-i pada variabel sensitivitas*
Wiac = *bobot indikator ke-i pada variabel kapasitas adaptif*
Xiac = *skor indikator ke-i pada variabel kapasitas adaptif*

Nilai indeks kerentanan kemudian diklasifikasikan ke dalam 5 (lima) tingkat/kelas kerentanan, yaitu: tinggi, agak tinggi, sedang, agak rendah dan rendah (Swandayani, 2010). Penentuan skala interval untuk kelas kerentanan dihitung dengan persamaan 3. Tingkat kerentanan akan dianalisis secara deskriptif per-region, berdasarkan variabel keterpaparan, tingkat sensitivitas dan kapasitas adaptif. Dari hasil penjelasan tingkat kerentanan pada setiap region maka akan didapatkan gambaran tingkat kerentanan sumber daya air terhadap variabilitas iklim pada lingkup DAS.

$$i = \frac{R}{n} \quad ..... (2)$$

Dimana :

i = *skala interval*
R = *selisih skor maksimum dan minimum*
n = *banyaknya kelas penilaian yang dibentuk*

Untuk mengetahui sampai sejauh mana tingkat akurasi/kebenaran peta kerentanan terhadap variabilitas iklim, dilakukan penilaian akurasi (*accuracy assessment*) dengan meng-*overlay* peta kerentanan dengan peta kejadian bencana. Asumsi yang dibangun, jika suatu daerah memiliki tingkat kerentanan yang tinggi berarti daerah tersebut sering dilanda bencana.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Kondisi DAS Aesesa

1. Kondisi Biofisik DAS Aesesa

DAS Aesesa merupakan salah satu DAS Prioritas I yang ada di Provinsi NTT, selain DAS Benain, Noelmina dan Kambaniru. Prioritas DAS disusun berdasarkan sistem skoring seperti luasnya lahan kritis, tingginya erosi sedimentasi, tekanan

penduduk yang besar, pengamanan bendungan vital, daerah miskin dan desa tertinggal (IDT), rawan banjir, daerah tangkapan air (DTA) bawah tanah, pengamanan hutan lindung. DAS Aesesa memiliki luas 122.995,85 ha yang terletak di dua kabupaten yaitu Kabupaten Ngada seluas 46.915,53 ha dan Kabupaten Nagekeo seluas 76.080,32 ha (Gambar 2).

Berdasarkan bentuknya, DAS Aesesa memiliki bentuk membulat. Bentuk DAS yang membulat ini menyebabkan bagian hujan yang menjadi limpasan akan terkumpul secara cepat dan mencapai *outlet* dalam waktu yang cepat juga. Lebih lanjut dikatakan bahwa bentuk DAS membulat ini akan memberikan debit puncak yang tinggi dan mengakibatkan meningkatnya sedimen yang terbawa aliran tersebut (BPDAS Benain Noelmina, 2013).

DAS Aesesa memiliki kondisi topografi yang bervariasi, mulai dari datar sampai terjal. Sebagian besar wilayah DAS didominasi oleh kemiringan curam (32%) dan terjal (41%). Dengan dominasi topografi terjal, maka wilayah DAS Aesesa menjadi peka terhadap erosi dan hanya sedikit lahan yang bisa digunakan sebagai lahan pertanian semusim. Untuk bisa memanfaatkan lahan-lahan tersebut diperlukan upaya-upaya konservasi tanah dan air yang tepat (BPDAS Benain Noelmina, 2013).

Berdasarkan peta tanah, sebaran jenis tanah di DAS Aesesa terdiri dari tanah Alluvial, Andosol, Kambisol, Podsolik dan Regosol. Jenis tanah yang mendominasi adalah tanah Kambisol Distrik (63%), jenis tanah yang terbentuk dari lereng-lereng vulkanik bagian tengah dan bagian bawah yang mudah lapuk. Jenis tanah ini mempunyai tekstur berkisar dari lempung remah sampai geluh berlempung. Kambisol mempunyai potensi untuk pertanian dan dapat dipakai untuk penanaman palawija tadah hujan, tanaman keras dan juga untuk budidaya tanaman padi (BPDAS Benain Noelmina, 2013).

BPDAS Benain Noelmina (2013) dalam laporannya menyebutkan bahwa, berdasarkan data *time series* curah hujan 1985-2012 dan klasifikasi iklim Scmidt - Fergusson, DAS Aesesa memiliki tipe iklim sedang (tipe D) di daerah hulu (Kec. Bajawa dan sekitarnya) dengan lama musim hujan rata-rata sekitar 6 bulan (November-April), agak kering (tipe E) di bagian tengah (kec.Boawae dan sekitarnya) dengan lama musim hujan rata-rata sekitar 5 bulan (November-Maret) dan iklim kering (tipe F) di bagian hilir (Kec.Aesesa dan sekitarnya) dengan lama musim hujan tercatat sekitar 4 bulan (Desember-Maret).

Laporan BPDAS Benain Noelmina (2012) menyebutkan bahwa sebagian besar wilayah DAS Aesesa (sekitar 80%) didominasi oleh fungsi kawasan Areal Penggunaan Lain (APL)/bukan kawasan hutan, sisanya sekitar 20%, terdiri atas cagar alam, hutan lindung dan hutan produksi. Sementara untuk penutupan lahan, wilayah DAS Aesesa didominasi oleh savana/padang rumput (41%) dan sebagian lainnya berupa hutan primer (5%), hutan sekunder (21%), semak belukar (12%), pertanian lahan kering (19%), sawah (1%), hutan mangrove (1%) dan tanah terbuka (kurang dari 1%). Berdasarkan tingkat kekritisan lahan, wilayah DAS dikategorikan agak kritis (42% dari total wilayah DAS), kritis (45%) dan sangat kritis (13%).

2. Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat di DAS Aesesa

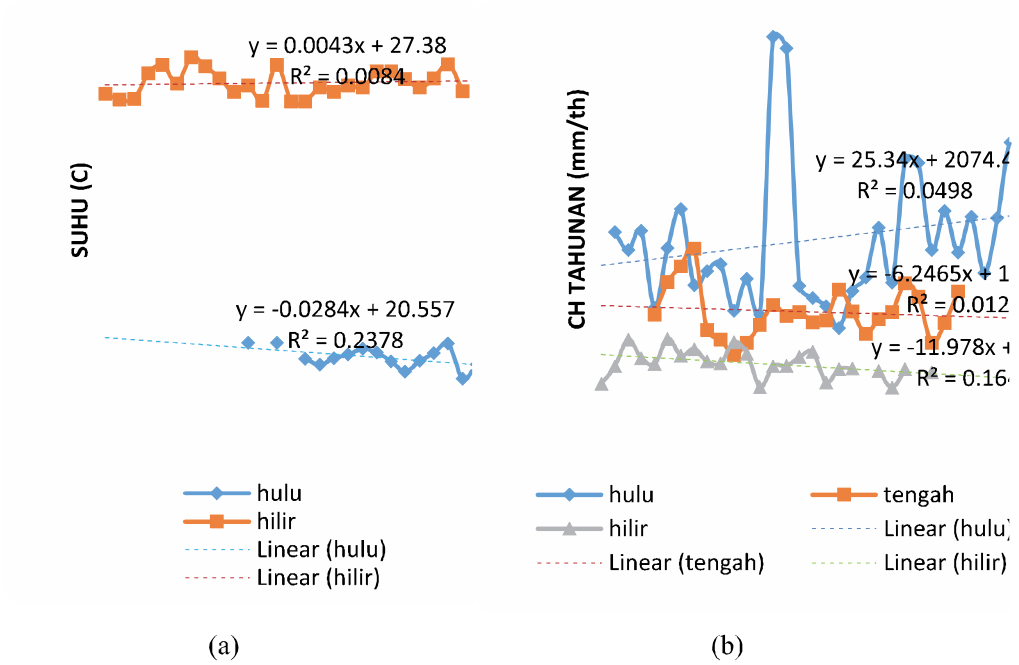
Pada tahun 2011, jumlah penduduk di DAS Aesesa tercatat 157.302 jiwa, yang terdiri dari laki-laki 77.589 jiwa dan perempuan 79.713 jiwa, dengan kepadatan penduduk 92 jiwa/km^2 dan jumlah kepala keluarga sebanyak 22.652 KK. Salah satu permasalahan kependudukan di DAS Aesesa adalah tekanan penduduk terhadap sumber daya alam. Makin besar jumlah penduduk, makin besar pula kebutuhan akan sumber daya sehingga tekanan terhadap sumber daya alam juga meningkat. Mayoritas tingkat pendidikan masyarakat di DAS Aesesa adalah pada tingkat Sekolah Dasar (sekitar 68% dari masyarakat di DAS Aesesa). Kondisi ini berakibat pada lemahnya atau lambatnya adopsi teknologi dan pengetahuan dalam pengelolaan DAS. Berkaitan dengan mata pencaharian, sekitar 50% dari jumlah penduduk di DAS Aesesa bermatapencaharian utama sebagai petani. Terkait dengan tingkat pendapatan masyarakat, sekitar 50% dari jumlah penduduk di DAS Aesesa memiliki tingkat pendapatan rata-rata sekitar Rp. 300.000/ bulan (BPDAS Benain Noelmina, 2013).

B. Kecenderungan (Trend) Perubahan Suhu Udara dan Curah Hujan

Pengamatan kecenderungan perubahan suhu udara di DAS Aesesa terhambat oleh tidak adanya stasiun meteorologi yang melakukan pengukuran terhadap suhu udara di sekitar Kabupaten Ngada dan Nagekeo. Kendala lainnya, data atau peta tentang *isotherm* sulit untuk didapatkan. Sebagai antisipasinya, digunakan data pengamatan suhu

udara di Ruteng, Kabupaten Manggarai sebagai representasi dari suhu udara rata-rata di Bajawa, Kabupaten Ngada (Hulu DAS Aesesa) dan data pengamatan suhu udara di Maumere, Kabupaten Sikka sebagai representasi dari Mbay, Kabupaten Nagekeo (Hilir DAS Aesesa). Antisipasi dan pendekatan yang dilakukan ini didasarkan atas pertimbangan kemiripan dalam hal: (a) ketinggian dari permukaan laut, (b) tipe bentang lahan (*landscape*). Hulu DAS Aesesa, Bajawa mempunyai ketinggian rata-rata sekitar 1.547 m dan Ruteng memiliki ketinggian rata-rata sekitar 1.177 m dan (BPS Provinsi NTT, 2012). Kedua wilayah ini memiliki tipe *landscape* berbukit-bukit bahkan bergunung-gunung dengan dicirikan topografi yang terjal/curam. Sedangkan Hilir DAS Aesesa, Mbay memiliki ketinggian rata-rata sekitar 55 m, hampir sama dengan ketinggian kota Maumere yaitu sekitar 35 m (BPS Provinsi NTT, 2012). Kedua daerah ini merupakan tipe kota pantai dengan topografi datar sampai landai.

Berdasarkan data suhu selama periode 1996-2012 di Stasiun Meteorologi Ruteng, yang merepresentasikan hulu DAS Aesesa, didapatkan suhu rata-rata bulanan sekitar 19,99^{0}C dengan suhu minimum 17,30^{0}C dan suhu maksimum 22,10^{0}C. Sedangkan di bagian hilir DAS, yang direpresentasikan oleh data suhu di Maumere pada tahun 1983-2011, didapatkan suhu bulanan rata-rata sekitar 27,44^{0}C dengan suhu minimum 25,00^{0}C dan suhu maksimum 30,40^{0}C. Pola suhu bulanan rata-rata baik di Ruteng maupun di Maumere hampir sama pada setiap tahunnya, dimana suhu maksimum terjadi pada musim hujan (awal musim hujan, Oktober-November) dan suhu minimum terjadi pada musim kemarau (puncak musim kemarau, Juli-Agustus). Suhu rata-rata tahunan di Ruteng (representasi Hulu DAS Aesesa) selama periode 1996-2012 cenderung menurun sekitar 0,45^{O}C, sebaliknya hasil analisa suhu tahunan rata-rata di Maumere (representasi Hilir DAS Aesesa) selama 1983-2011 menunjukkan kecenderungan kenaikan sekitar 0,12 ^{O}C (Gambar 4a). Terkait dengan suhu, sebanyak 94% responden di daerah hulu menyatakan bahwa suhu udara dalam 5 atau 10 tahun terakhir cenderung lebih dingin, sementara 70% responden di daerah hilir menyatakan bahwa suhu udara cenderung lebih panas. Jadi persepsi masyarakat tentang perubahan suhu ini sesuai dengan hasil analisis data suhu udara.



(a) (b)

Sumber: Data Pengukuran Suhu di Stasiun Meteorologi Ruteng 1996-2012 dan Data Pengukuran Suhu di Stasiun Meteorologi Maumere 1983-2011

Sources: Temperature Data in Meteorological Station of Ruteng during 1996-2012 and Temperature Data in Meteorological Station of Maumere during 1983-2011

Gambar 4.(a) Tren suhu tahunan rata-rata(b) Tren curah hujan tahunan di DAS Aesesa.

Figure 4.(a) Trend of mean annual temperature and (b) trend of annual precipitation in Aesesa Watershed.

Bagaimana dengan kecenderungan perubahan curah hujan? Pengamatan kecenderungan perubahan curah hujan dilakukan pada tiga stasiun pengamat curah hujan yang mewakili tiga region DAS, yaitu di: Bajawa (hulu DAS), Boawae (tengah DAS) dan Danga (hilir DAS). Curah hujan tahunan rata-rata di sekitar Bajawa tercatat sebesar 2.530 mm/tahun, sedangkan di Boawae dan Danga masing-masing sebesar 1.362 mm/tahun dan 541 mm/tahun. Seperti suhu udara, curah hujan bulanan dari tahun ke tahun juga menunjukkan pola yang hampir sama. Pola curah hujan dapat diklasifikasikan menjadi 3 pola, yaitu: monsunal *(monsoon)*, ekuatorial (*equator*) dan lokal (Tjasyono, 2004; Aldrian dan Susanto, 2003; Sipayung *et al*., 2010). Pola curah hujan di DAS Aesesa dapat diklasifikasikan sebagai pola hujan *monsoon,* karena memiliki grafik berbentuk huruf "V", dimana terjadi perbedaan yang jelas antara musim hujan dan musim kemarau. Musim kemarau yang ditandai dengan hujan minimum terjadi pada saat bulan Juni, Juli dan Agustus atau pada saat terjadinya angin monsoon timur, yaitu pada saat matahari berada di garis balik utara. Sebaliknya pada saat terjadinya angin *monsoon* barat (November-Januari), terjadi hujan yang berlimpah (Sipayung *et al*., 2010).

Hasil analisa tren curah hujan tahunan menunjukkan kenaikan pada region hulu dan penurunan pada region tengah dan hilir (Gambar 4b). Pada region hulu terjadi kecenderungan kenaikan curah hujan tahunan sebesar 938 mm selama periode 1973-2010 (37 tahun), sebaliknya di region tengah terjadi kecenderungan penurunan curah hujan tahunan sebesar 175 mm selama 1976-2004 (28 tahun). Serupa dengan region tengah, di region hilir juga terjadi kecenderungan penurunan curah hujan tahunan sebesar 359 mm selama 1972-2002 (30 tahun). Terkait dengan perubahan curah hujan, hasil wawancara dengan masyarakat menunjukkan bahwa berdasarkan indikator lama periode musim hujan, 64% responden di bagian tengah dan 67% responden di bagian hilir menyatakan bahwa periode musim hujan dalam beberapa tahun terakhir semakin pendek, hal ini sesuai dengan hasil analisis data curah hujan yang menyebutkan bahwa pada region hilir dan tengah terjadi kecenderungan penurunan curah hujan.

Analisis regresi suhu tahunan rata-rata dan curah hujan tahunan rata-rata pada Gambar 4 menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang relatif kecil. Sebagai contoh nilai R^2= 0,24 (koefisien determinasi suhu udara di daerah hulu - Gambar 4a), mengindikasikan bahwa sekitar 24% variasi peubah suhu rata-rata dapat dijelaskan oleh variasi peubah tahun, sedangkan 76% sisanya dijelaskan oleh faktor-faktor lain. Persamaan regresi dengan nilai R^2yang relatif rendah ini masih dapat digunakan karena hanya sebagai alat untuk menjelaskan, bukan untuk memprediksi (Maletta, 2009 dalam Adiyoga *et al*., 2012).

C. Kondisi Sumber Daya Air

Indikator yang biasanya digunakan untuk menggambarkan kondisi sumber daya air adalah kuantitas (debit air) dan kualitas air. Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Nagekeo yang mengelola Bendungan Sutami-bendungan sungai Aesesa (sungai utama di DAS Aesesa), menyatakan bahwa debit air rata-rata di Sungai Aesesa adalah 7,5 m^3/detik pada musim hujan dan 4,5 m^3/detik pada musim kemarau pada tahun 2013. Lebih lanjut Dinas PU menyatakan bahwa debit air dalam lima tahun terakhir relatif sama dan tidak mengalami perubahan yang berarti. Data lain yang dikeluarkan oleh Ditjen Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum pada tahun 2010 menyebutkan bahwa Sungai Aesesa memiliki debit minimum 0,6 m^3/detik dan debit maksimum 62,3 m^3/detik.

BP DAS Benain Noelmina (2012) menyatakan bahwa salah satu indikator untuk menilai debit air sungai adalah nilai parameter Koefisien Regim Sungai (KRS). KRS merupakan perbandingan antara debit maksimum dan debit minimum, semakin besar nilainya, debit air sungai diklasifikasikan jelek. Nilai KRS DAS Aesesa yang didapatkan sekitar 103, yang diklasifikasikan sedang (klasifikasi nilai KRS: < 50 baik, 50-120 sedang, >120 jelek). Meski dikategorikan sedang, namun nilai KRS ini mendekati ambang batas kelas jelek (120), artinya jika tidak dilakukan upaya-upaya untuk menjaga daerah resapan air, maka pada musim kemarau daerah di sekitar DAS akan mengalami kekurangan air.

Selain KRS, indikator lain yang digunakan untuk menilai kondisi sumber daya air adalah Indeks Penggunaan Air (IPA). IPA dapat dihitung dengan membandingkan antara kebutuhan air dengan persediaan air di DAS. BP DAS Benain Noelmina (2012) menyatakan bahwa kebutuhan air rata-rata

Tabel 2. Hasil pemantauan kualitas air di DAS Aesesa tahun 2010-2012
Table 2. Water quality assessments in Aesesa Watershed 2010-2012

Lokasi/ *Location*	Skor/ Kelas mutu air *Score/ Water Quality Class*							
	2009		2010		2011		2012	
	MH	MK	MH	MK	MH	MK	MH	MK
- Sungai Wulubhara – Hulu DAS (*Wulubhara river-upstream watershed*)	-	-10/ B	-	-14/ C	-	-14/ C	0/ A	-2/ B
- Kali Aesesa – Hilir DAS (*Aesesa river-downstream watershed*)					0/ A	0/ A	-15/ C	-18/ C

Keterangan(*Remarks*):
- MH : Musim Hujan(*Rainy season*)
- MK : Musim Kemarau (*Dry season*)
- Kelas mutu air (*Water Quality Class*): A (memenuhi baku mutu / *meets standard quality*), B (cemar ringan / *lightly polutted*), C (cemar sedang / *moderately polluted*)

Sumber (*Sources*):
- Laporan Pemantauan Kualitas Air BLHD Ngada 2009-2012 (*Water Quality Assessment Report BLHD Ngada 2009-2012*)
- Laporan Pemantauan Kualitas Air BLHD Nagekeo 2011-2012 (*Water Quality Assessment Report BLHD Nagekeo 2011-2012*)

di DAS Aesesa untuk hutan, pertanian dan non pertanian adalah sebesar 3.057 mm/tahun, sedangkan ketersediaan air yang diestimasi dari curah hujan rata-rata adalah sebesar 1.195 mm/ tahun. Perbandingan kebutuhan dan ketersediaan air ini menghasilkan nilai IPA sebesar 3, yang diinterpretasikan buruk (klasifikasi nilai IPA: $\leq$ 0,5 baik, 0,6-0,9 sedang, $\geq$1 buruk).

Dari indikator kuantitas atau debit air di DAS Aesesa, dikatakan bahwa secara umum kuantitas air tidak mengalami perubahan yang berarti dalam lima tahun terakhir. Namun begitu, nilai KRS yang mendekati ambang batas jelek dan nilai IPA yang masuk kategori buruk menunjukkan bahwa kondisi sumber daya air di DAS Aesesa dalam keadaan kritis. Hal ini sesuai dengan hasil kajian Bappenas (2010) yang menyatakan bahwa neraca air di Region Nusa Tenggara dikaterikan kritis. Sementara hasil wawancara dengan masyarakat menyebutkan bahwa sekitar 48% responden menyatakan mereka merasa kekurangan air dan 43% responden menyatakan air yang tersedia masih bisa mencukupi untuk kebutuhan mereka.

Terkait dengan kualitas air di DAS Aesesa, Badan Lingkungan Hidup Daerah (BLHD) Kabupaten Ngada dan Nagekeo melaporkan bahwa kondisi mutu air sungai di DAS Aesesa bervariasi, mulai dari kelas A (memenuhi baku mutu), kelas B (cemar ringan) dan kelas C (cemar sedang). Penentuan status mutu air menggunakan metode Storet dan parameter yang digunakan adalah: suhu air, pH, daya hantar listrik, salinitas, turbiditas dan total padatan terlarut (BLHD Ngada, 2012; BLHD Nagekeo, 2012). Parameter-parameter ini kemudian diskoring dan dibandingkan dengan kriteria mutu air kelas I (sesuai Peraturan Pemerintah - PP 82 tahun 2001), sehingga dapat diketahui parameter yang memenuhi baku mutu air. Selanjutnya ditetapkan kelas mutu air sebagai hasil akhirnya. Hasil pemantauan terakhir tahun 2012 menyebutkan bahwa, sungai sampel di hulu DAS Aesesa masuk dalam kategori cemar ringan, sementara sungai sampel di hilir DAS masuk kategori cemar sedang (Tabel 2). Persepsi masyarakat terhadap kualitas air, 61% total responden di semua region, 63% reponden di hulu DAS dan 50% responden di hilir DAS menyatakan bahwa kualitas air tidak berubah.

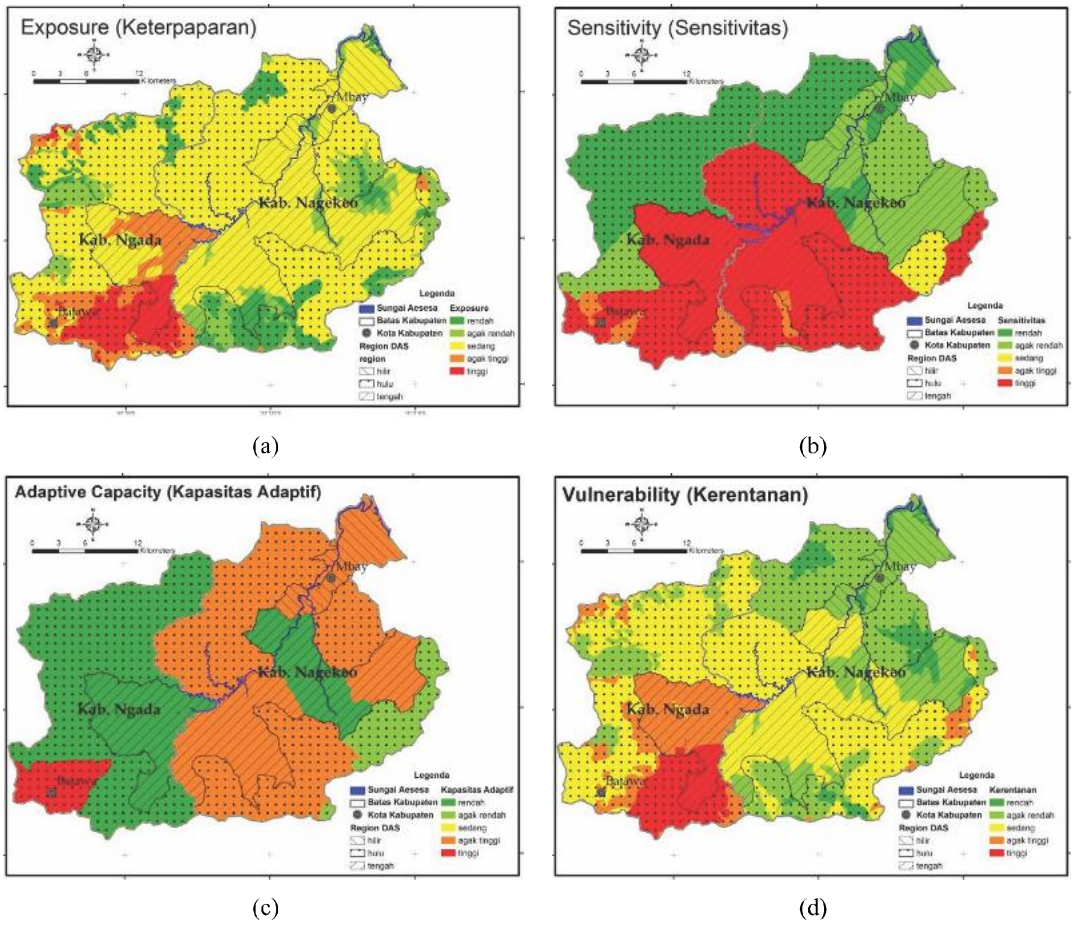
D. Kerentanan Sumber Daya Air terhadap Perubahan / Variabilitas Iklim

emetaan variabel keterpaparan sumber daya air merupakan hasil tumpang tindih (*overlay*) peta curah hujan, peta penutupan lahan dan peta tingkat kekritisan lahan di wilayah DAS Aesesa. Dari hasil kajian spasial, didapatkan bahwa region hulu

memiliki tingkat keterpaparan paling tinggi dibandingkan daerah tengah tengah dan hilir (Gambar 5a). Tingginya curah hujan di region hulu, terbatasnya penutupan lahan berupa hutan dan banyaknya lahan kritis menjadikan region ini memiliki indeks *exposure* tertinggi.

Pemetaan kepekaan (sensitivitas) sumber daya air terhadap variabilitas iklim dipengaruhi oleh tingkat permintaan air (direpresentasikan secara spasial dengan tingkat kepadatan penduduk dan akses terhadap air bersih) dan ketergantungan masyarakat terhadap lahan (proporsi masyarakat yang bergantung pada sektor pertanian). Tingginya kepadatan penduduk di daerah hulu dan banyaknya masyarakat yang bergantung pada sektor pertanian menjadikan region ini memiliki indek sensitivitas lebih tinggi daripada daerah tengah dan hilir (Gambar 5b).

Kemampuan adaptif pada sektor sumber daya air dikaji dengan kriteria dan indikator: kualitas SDM (indeks pendidikan, perilaku konservasi); sosial ekonomi masyarakat (tingkat kesejahteraan masyarakat, konflik dan dukungan pemerintah), fasilitas kesehatan dan daerah resapan air. Daerah hilir memiliki indeks tertinggi, diikuti daerah tengah dan hulu (Gambar 5c). Sebagaimana diuraikan di metodologi penelitian bahwa, tingkat pendidikan yang relatif lebih tinggi pada masyarakat di daerah hilir jika dibanding dengan daerah hulu dan tengah menjadikan region hilir memiliki indeks kemampuan adaptif tertinggi, diikuti region tengah dan hulu. Setelah melewati tahap pemberian bobot, skoring dan *overlay*, kombinasi dari ketiga variabel, yaitu keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas adaptif, menghasilkan peta kerentanan (Gambar 5d). Indeks kerentanan



Sumber: Pengolahan data primer, 2013
Sources: Primary data analysis, 2013

Gambar 5. Peta tingkat keterpaparan (a), sensitivitas (b), kapasitas adaptif (c) dan tingkat kerentanan (d) di DAS Aesesa.
Figure 5. Map of exposure (a), sensitivity (b), adaptive capacity (c) and vulnerability in Aesesa Watershed.

Tabel 3. Distribusi tingkat kerentanan pada masing-masing region
Table 3. Distribution of vulnerability area by watershed region

Tingkat kerentanan *Vulnerability Class*	Region DAS (ha) *Watershed Region (ha)*			Total luas (ha) *Total area*
	Hulu *Upstream*	Tengah *Middle*	Hilir *Downstream*	
Rendah*(Low)*	16.216,09	7.858,87	5.681,81	29.756,78
Agak Rendah*(Rather low)*	3.351,68	8.322,02	-	11.673,70
Sedang*(Medium)*	12.380,18	1.879,18	1.286,17	15.545,52
Agak Tinggi*(Rather high)*	41.854,50	16.116,18	-	57.970,69
Tinggi*(High)*	5.782,94	2.266,22	-	8.049,16
Total luas region (ha)	79.585,39	36.442,48	6.967,98	122.995,85

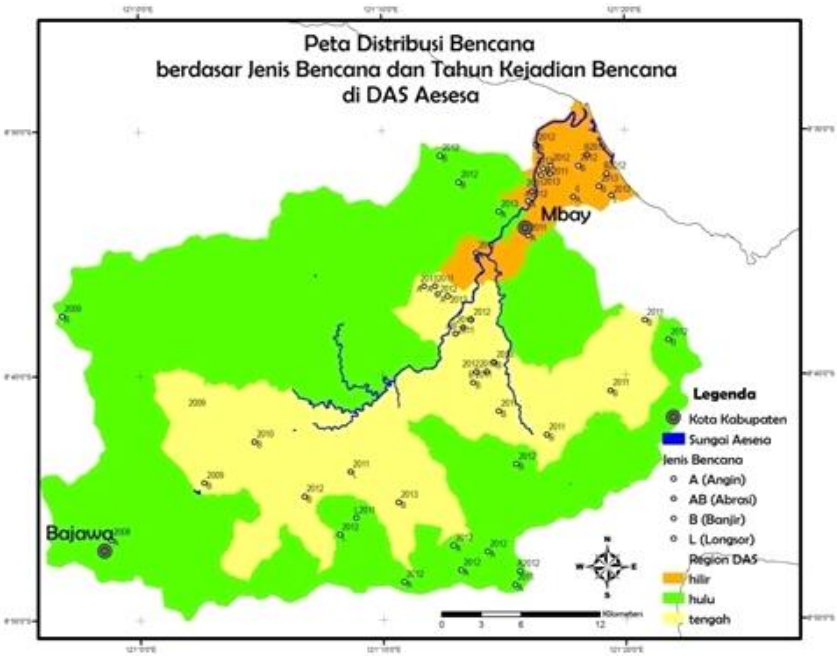
Sumber: Pengolahan data primer, 2013
Sources: Primary data analysis, 2013

daerah di region hulu DAS relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan daerah tengah dan hilir (Gambar 5d; Tabel 3). Dari hasil analisis didapatkan bahwa sekitar 60% wilayah region hulu masuk dalam tingkat kerentanan agak tinggi sampai tinggi, sedangkan untuk wilayah region tengah, 50% wilayahnya diklasifikasikan ke tingkat kerentanan agak tinggi. Sementara pada region hilir, tingkat kerentanan sumber daya air sebagian besar (sekitar 80%) dikategorikan rendah.

Sampai sejauh mana tingkat kebenaran atau validasi peta kerentanan di atas? Pada kajian ini, penilaian tingkat kebenaran/validasi peta kerentanan dilakukan dengan meng-*overlay* peta kerentanan dengan peta bencana. Terkait dengan kejadian bencana, data bencana yang dikumpulkan dari berbagai sumber (Badan Penanggulangan Bencana Daerah/BPBD Kabupaten Ngada dan Nagekeo tahun 2011-2013 serta data kebencanaan BPDAS Benain Noelmina tahun 2008-2010) menyebutkan bahwa telah terjadi kurang lebih 50 bencana yang terdistribusi di seluruh Region DAS dari hulu sampai hilir (Gambar 6). Jenis bencana alam yang paling sering terjadi adalah banjir (52% terhadap total bencana), angin (34%), longsor (12) dan abrasi (2%). Berdasarkan region atau wilayah DAS yang terdampak, region tengah merupakan region yang paling banyak bencana (42%) diikuti region hulu (30%) dan region hilir (28%). Jika peta bencana ini dikaitkan dengan peta kerentanan terdapat kesesuaian dimana pada daerah dengan tingkat kerentanan lebih tinggi (region hulu dan tengah) memiliki jumlah kejadian bencana lebih banyak daripada daerah dengan tingkat kerentanan rendah (region hilir).

Salah satu kelemahan peta kerentanan adalah sumber data yang dipakai, dimana kebanyakan data spasial berasal dari data sekunder. Berdasarkan *review* terhadap 45 publikasi ilmiah yang terbit di jurnal terkait dengan peta kerentanan, Preston *et al*. (2012), menyatakan bahwa hanya sekitar 9% dari publikasi tersebut yang menggunakan data primer, sehingga tingkat kepercayaannya masih diragukan. Lebih lanjut dinyatakan bahwa kelebihan pemetaan kerentanan adalah dalam hal mampu menampilkannya informasi spasial (Preston *et al.,* 2012). Terlepas dari segala kelebihan dan kekurangan tersebut, pemetaan kerentanan tetap merupakan *cost-effective tools* (Harter dan Walker, 2001) bagi lembaga terkait untuk keperluan perencanaan tata ruang atau penyusunan rencana adaptasi terhadap variabilitas iklim.

Hasil penilaian kerentanan ini juga bisa dijadikan dasar dalam penyusunan strategi penanganan kerentanan. Alternatif strategi yang diusulkan : (1) Penghijauan/reboisasi pada daerah hulu DAS, terutama di sekitar Cagar Alam Watuata, yang terancam oleh perambahan masyarakat untuk perkebunan kopi; (2) manajemen tata guna lahan pada region tengah, terutama terkait banyaknya alih fungsi lahan dimana savana yang mendominasi tutupan lahan di region tengah (sekitar 70% dari total region tengah) terancam oleh ekspansi lahan pertanian oleh masyarakat; (3) perlindungan terhadap bencana di semua region DAS, terutama untuk daerah-daerah dengan tingkat kerentanan tinggi dan selama ini menjadi daerah langganan bencana. Strategi-strategi ini dapat dijadikan alternatif usulan kegiatan/program oleh para pemangku kepentingan/lembaga terkait



Sumber: Laporan Kejadian Bencana di Kabupaten Ngada dan Kabupaten Nagekeo 2011-2013 (BPBD Kab. Ngada dan Kab, Nagekeo, 2013) dan Data Kebencanaan 2008-2010 (BPDAS Benain Noelmina, 2012)

Sources: Report of Disaster Events in Ngada & Nagekeo District during 2011-2013 (BPBD Kab. Ngada dan Kab. Nagekeo, 2013) and Disaster Events during 2008-2010 (BPDAS Benain Noelmina, 2012)

Gambar 6. Peta persebaran bencana berdasarkan jenis bencana dan tahun terjadinya bencana di DAS Aesesa.

Figure 6. Map of disaster distribution by types and times in Aesesa Watershed.

pengelolaan sumber daya air dan antisipasi dampak variabilitas iklim.

E. Kelembagaan terkait Dampak Perubahan/ Variabilitas Iklim pada Sektor Sumber Daya Air

Pemerintah, melalui presiden Joko Widodo menyatakan bahwa masalah utama di Provinsi NTT adalah air (Kompas, 2015), untuk itu dalam periode waktu lima tahun kedepan (2014–2019), Provinsi NTT mendapat kucuran dana sebesar Rp. 5,6 triliun dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) untuk membangun enam bendungan raksasa(Pemerintah Provinsi NTT, 2015). Enam bendungan raksasa tersebut adalah yaitu Bendungan Raknamo di Kabupaten Kupang, Bendungan Temef di Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS), Bendungan Noktilot di Kabupaten Belu, Bendungan Napung–Gete di Kabupaten Sikka, Bendungan Kolhua, dan Bendungan Lambo (Mbay) di Kabupaten Nagekeo (Pemerintah Provinsi NTT, 2015; Kompas, 2015; Pos Kupang, 2015). Bendungan Lambo inilah yang berada di sekitar lokasi kajian, DAS Aesesa.

Kementerian Pekerjaan Umum melalui Balai Wilayah Sungai (BWS) Nusa Tenggara II, menyatakan bahwa kebutuhan air bagi masyarakat NTT adalah 1,3 miliar m^3/tahun. Sementara potensi air di NTT yang belum dimaksimalkan dan terbuang adalah 16,7 miliar m^3 (Pemerintah Provinsi NTT, 2015). Potensi air yang terbuang inilah yang akan dimaksimalkan melalui pembangunan bendungan-bendungan. BWS Nusa Tenggara II menyatakan bahwa pemanfaatan bendungan-bendungan ini adalah untuk persediaan air baku, irigasi pertanian, tenaga listrik dan pariwisata (Pos Kupang, 2015).

Beberapa rencana strategi yang terkait dengan sumber daya air adalah adanya upaya konservasi dan rehabilitasi mata air, khususnya di daerah hulu (dilaksanakan oleh Kementerian Kehutanan dan Dinas Kehutanan setempat) dan optimalisasi pemanfaatan sumber daya air (Kementerian PU, Kementerian Pertanian). BMKG Provinsi NTT, selaku perwakilan dari pemerintah yang berurusan

dengan iklim dan cuaca, sudah menganalisis data iklim dan cuaca serta memberikan informasi tentang perkiraan datangnya musim hujan dan musim kemarau untuk mengantisipasi bencana banjir, tanah longsor dan kekeringan. Balai Penelitian Teknologi Pertanian (BPTP) Pertanian NTT bekerjasama dengan Universitas Nusa Cendana Kupang sudah melakukan kajian dan penelitian tentang varietas tanaman yang tahan kekeringan, sebagai antisipasi kemarau panjang dan minimnya curah hujan di NTT.

Selain pemerintah, beberapa lembaga swadaya masyarakat (LSM) juga berkontribusi dalam upaya penanganan dampak variabilitas iklim pada sektor sumber daya air. Beberapa LSM di wilayah DAS Aesesa yang teridentifikasi memiliki program terkait konservasi dan optimalisasi sumber daya air adalah *Plan International* dan Yayasan Mitra Tani Mandiri (YMTM). *Plan International* memiliki program penyediaan sarana dan prasarana air bersih, sedangkan YMTM dengan program konservasi mata air.

Beberapa badan usaha yang bergerak dalam usaha yang terkait sumber daya air juga sudah dilibatkan dalam upaya kelestarian sumber daya air. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Bajawa (Kabupaten Ngada) dan Mbay (Kabupaten Nagekeo) yang merupakan badan usaha milik daerah yang memberikan jasa penyediaan air bersih di perkotaan memiliki program pelestarian sumber air baku dan perbaikan instalasi perpipaan demi menjamin ketersediaan air bagi masyarakat. Perusahaan PT Kharisma di Bajawa, produsen air mineral kemasan, bekerjasama dengan BLHD dan Dinas Kehutanan juga terlibat dalam kegiatan konservasi dan optimalisasi pemanfaatan sumber mata air.

Dari paparan sebelumnya dapat dinyatakan bahwa para pemangku kepentingan di sekitar DAS Aesesa sudah melakukan beberapa upaya untuk meminimalisir terjadinya bencana/cuaca ekstrem dan menanggulangi kekritisan sumber daya air sebagai dampak dari variabilitas iklim. BP DAS Benain Noelmina tahun 2011 melakukan monitoring dan evaluasi sampai sejauh mana tingkat koordinasi dan sinergitas lembaga-lembaga terkait. Hasilnya menyatakan bahwa tingkat konflik antar lembaga pengelola DAS Aesesa tergolong sedang. Persoalan yang masih dijumpai adalah belum adanya keterpaduan kegiatan, terjadi *overlapping* program dan pendekatan keproyekan dalam pelaksanaan program. Selain itu dasar pelaksanaan proyek yang menggunakan unit wilayah administrasi terkadang menjadi permasalahan tersendiri pada pengelolaan DAS Aesesa yang terletak di dua wilayah administrasi (kabupaten).

Permasalahan-permasalahan diatas diharapkan bisa teratasi dengan terbentuknya Forum DAS NTT dan tersusunnya Rencana Pengelolaan DAS (RPDAS) Terpadu pada beberapa DAS Prioritas di NTT, termasuk DAS Aesesa. Forum DAS NTT, yang merupakan forum gabungan antara pemerintah, LSM dan masyarakat, diharapkan bisa mengakomodir semua kepentingan (lintas sektoral). Sementara RP DAS Terpadu yang disusun pada tahun 2012, yang didalamnya berisi tentang pembagian peran para pemangku kepentingan dalam mengelola DAS dan sumber daya air diharapkan bisa memadukan kegiatan dan meminimalisir *overlapping* program terkait pengelolaan sumber daya air.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan data-data klimatologis selama beberapa puluh tahun terakhir, di DAS Aesesa telah terjadi fenomena variabilitas iklim, dimana terjadi kecenderungan kenaikan suhu udara rata-rata tahunan di bagian hilir DAS dan kecenderungan penurunan curah hujan pada bagian tengah dan hilir DAS pada sekitar 30 tahun terakhir. Hasil observasi dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa variabilitas iklim belum berdampak nyata terhadap kuantitas dan kualitas air. Meski demikian, beberapa indikator berupa KRS, IPA dan neraca air menunjukkan bahwa kondisi sumber daya air di DAS Aesesa dalam keadaan kritis/rentan. Perpaduan antara konsep kerentanan IPCC dan pendekatan spasial yang digunakan untuk menilai sampai sejauh mana kerentanan sumber daya air menghasilkan peta kerentanan sumber daya air, dimana sekitar 54% dari total wilayah DAS Aesesa teridentifikasi memiliki tingkat kerentanan tinggi, 13% diklasifikasikan ke tingkat kerentanan sedang dan 33% dikategorikan ke tingkat kerentanan rendah. Berdasarkan region DAS, urutan tingkat kerentanan berturut-turut dari yang tertinggi ke

yang terendah adalah region hulu, tengah dan hilir. Disamping kelebihannya dalam menampilkan informasi kerentanan secara spasial, peta kerentanan juga memiliki kekurangan yaitu dalam penyusunannya banyak menggunakan data sekunder yang masih diragukan kebenarannya. Terlepas dari segala kelebihan dan kekurangan tersebut, peta kerentanan tetap merupakan alat yang efektif dan berbiaya rendah yang bermanfaat bagi lembaga terkait untuk menyusun strategi, rencana dan aksi dalam menanggulangi masalah dampak variabilitas iklim terhadap sumber daya air.

B. Saran

Rekomendasi yang ditawarkan terkait hasil kajian meliputi rekomendasi pada aspek teknis dan aspek kelembagaan/kebijakan. Berdasarkan peta kerentanan dan terkait dengan aspek teknis, beberapa hal yang bisa dilakukan yaitu: optimalisasi kegiatan reboisasi di region hulu, optimalisasi tata guna lahan di region tengah dan optimalisasi manajemen bencana di semua region DAS. Pelaku utama dalam optimalisasi kegiatan reboisasi di region hulu yaitu: Kementerian Kehutanan, melalui Balai Besar KSDA NTT Seksi Wilayah Flores, selaku pemangku utama di wilayah hulu DAS serta BPDAS Benain Noelmina yang memiliki kegiatan reboisasi sebagai tupoksinya. Kegiatan ini diharapkan juga didukung oleh pihak terkait lainnya yaitu pemerintah daerah (Dinas Kehutanan dan BLHD Kab. Ngada dan Kab. Nagekeo); PDAM melalui kegiatan *Corporate Social Responsibility* (CSR) dan pemerintah desa atau masyarakat di sekitar hulu DAS. Untuk kegiatan optimalisasi tata guna lahan di region tengah, pelaku utamanya adalah Bappeda Provinsi NTT/Kabupaten Ngada dan Kabupaten Nagekeo melalui kegiatan monitoring dan *review* Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi/Kabupaten yang memastikan bahwa tata guna lahan sesuai dengan perencanaan dengan tetap mempertimbangkan kelestarian lingkungan. Sementara itu, untuk kegiatan optimalisasi manajemen bencana di semua region DAS, pelaku utamanya adalah Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) melalui penyusunan *database* daerah rawan bencana, perencanaan daerah evakuasi bencana, pengembangan *early warning system* (peringatan dini) serta mendorong masyarakat untuk membentuk kelompok masyarakat tanggap bencana.

Sementara itu terkait aspek kelembagaan, beberapa hal yang direkomendasikan adalah percepatan dan monitoring kebijakan pembangunan bendungan di NTT dan implementasi kebijakan pengelolaan DAS yang berkelanjutan - RPDAS terpadu yang telah tersusun. Pelaku utama percepatan dan monitoring kebijakan pembangunan bendungan adalah Kementerian PU yang tujuan utamanya adalah memastikan bahwa pembangunan bendungan sesuai rencana dan spesifikasi teknis yang ditetapkan. Sementara itu, Forum DAS NTT selaku koordinator *stakeholder* terkait pengelolaan DAS, diharapkan menjadi pelaku utama dalam mengawal RPDAS Aesesa yang telah tersusun agar tepat sasaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Balai Penelitian Kehutanan Kupang, Pemerintah Daerah Kabupaten Ngada dan Kabupaten Nagekeo serta warga masyarakat pada desa-desa sampel di DAS Aesesa atas segala kontribusinya, baik berupa dana/ anggaran, ijin, *sharing* data/ informasi dan bantuan teknis selama kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Adger, W.N. (2006).Vulnerability.*Global Environmental Change*, *16*, 268-281.

Adiyoga, W., Basuki, R.S., Djuariah, D., dan Safaruddin. (2012). *Persepsi Petani dan adaptasi terhadap perubahan iklim: Studi kasus sayuran dataran tinggi dan rendah di Sulawesi Selatan. Laporan Akhir Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa, Kementerian Riset dan Teknologi*. Bandung: Balai Penelitian Tanaman Sayuran.

Aldrian, E. dan Susanto, R.D. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to seasurface temperature. *Int. J. Climatol,* **23**:1435–1452.

Asdak, C. (1997). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Bappeda NTT. (2009). *Rencana pembangunan jangka menengah daerah provinsi NTT tahun 2009-2013*. Kupang: Bappeda NTT.

Bappenas [Badan Perencanaan Pembangunan Nasional]. (2010). *Indonesia climate change sectoral roadmap ICCSR: Sektor sumber daya air*. Jakarta: Bappenas.

Benson, C., Twigg, J., and Rosetto, T. (2007). *Tools for mainstreaming disaster risk (Guidance Notes for Development Organisations)*. Geneva, Switzerland: Provention Consortium Secretariat.

BLHD [Badan Lingkungan Hidup Daerah] Kabupaten Nagekeo. (2012). *Laporan pemantauan kualitas air tahun 2011-2012*. Mbay: BLHD Kabupaten Nagekeo.

BLHD Kabupaten Ngada.(2012). *Laporan pemantauan kualitas air tahun 2009-2012*. Bajawa: BLHD Kabupaten Ngada.

BPBD [Badan Penanggulangan Bencana Daerah] Kabupaten Ngada. (2013). *Laporan kejadian bencana 2011-2013*. Bajawa: BPBD Kabupaten Ngada.

BPBD [Badan Penanggulangan Bencana Daerah] Kabupaten Nagekeo. (2013). *Laporan kejadian bencana 2011-2013*. Mbay: BPBD Kabupaten Nagekeo.

BPDAS [Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai] Benain Noelmina. (2011). *Buku II data lapangan: Optimalisasi pengelolaan DAS dalam rangka pemberdayaan masyarakat DAS Kambaniru*. Kupang: Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Benain Noelmina.

BPDAS Benain Noelmina. (2012). *Laporan akhir karakteristik DAS Aesesa*. Kupang: BPDAS Benain Noelmina.

BPDAS Benain Noelmina. (2013). *Rencana pengelolaan DAS terpadu DAS Aesesa provinsi NTT*. Kupang: BPDAS Benain Noelmina.

BPS [Badan Pusat Statistik] Provinsi NTT. (2012). *NTT dalam angka tahun 2012*. Kupang: BPS Provinsi NTT.

BPS Kabupaten Nagakeo. (2011). *Kabupaten Nagekeo dalam angka 2011*. Mbay: BPS Kabupaten Nagekeo.

BPS Kabupaten Nagakeo. (2012). *Kabupaten Nagekeo dalam angka 2012*. Mbay: BPS Kabupaten Nagekeo.

BPS Kabupaten Ngada. (2011).*Kabupaten Nagekeo dalam angka 2011*. Bajawa: BPS Kabupaten Ngada.

BPS Kabupaten Ngada. (2012).*Kabupaten Nagekeo dalam angka 2012*. Bajawa: BPS Kabupaten Ngada.

Bryant, R. L. and Bailey, S. (1997). *Third world political ecology*. London: Routledge.

Davis, A. and Wagner. J. (2003). Who knows? On the importance of identifying 'experts' when researching local ecological knowledge. *Human Ecology 31*(3):463-489.

Effendi, M. (2012). *Kajian tingkat kerentanan masyarakat terhadap perubahan iklim dan strategi adaptasi berbasis DAS (Studi kasus: Sub Das Garang Hulu*). (Tesis Program Studi Ilmu Lingkungan), Semarang: Universitas Dipnegoro.

Faqih, A. (2011). Kajian ilmiah perubahan iklim dan hubungannya dengan kejadian iklim ekstrim di Indonesia. *Simposium Penelitian Perubahan Iklim dan launching IPCC Indonesia.* Bogor: IPB International Convention Center.

Gain, A.K., Giupponi, C., and Renaud, F.G. (2012). Climate change adaptation and vulnerability assessment of water resources systems in developing countries: a generalized framework and a feasibility study in Bangladesh. *Water 2012*, *4*(2), 345-366; doi:10.3390/w4020345.

Hamouda, M.A.A. (2006). *Vulnerability assessment of water resources systems in the eastern Nile Basin to environmental factors*. (Thesis, Department of Natural Resources, Institute of African Research and Studies). Cairo: Cairo University.

Harter, T., and Walker.F.G. (2001). *Assessing vulnerability of ground water*. Davis: University of Carolina & Caroline Department of Health Science.

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. (2001): Impacts, adaptation vulnerability. *Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Geneva: UNEP/WMO.

IPCC. (2007). Summary for policy makers: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assesment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. *In* Parry, M.L. Canziani, O.F., Palukof, J.P., van der Linden, P.J., and Hanson, C.E. (Eds). Cambridge: Cambridge University.

KLH [Kementerian Lingkungan Hidup] RI. (2010). *Kajian resiko dan adaptasi terhadap variabilitas iklim Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat. Laporan Penelitian - Kerjasama antara Kementerian Lingkungan Hidup RI, Kerjasama antara RI dengan Republik Federal Jerman, GTZ, WWF dan Pemda NTB*. Mataram: NTB.

KLH RI. (2014).*Peluncuran sistem inventarisasi data indeks kerentanan (SIDIK) perubahan iklim*. Diunduh dari http://adaptasi.menlh.go.id/?p=1008. (20 januari 2015)

Kompas. (2012). *NTT rawan pangan*. Diunduh dari http://cetak.kompas.com/read/2012/08/15/05004499/ntt.rawan.pangan. (10 Mei 2013)

Kompas. (2013). *7 desa di NTT terendam banjir*. Diunduh dari http://regional.kompas.com/read/2013/06/09/23014635/7.Desa.di.NTT.Terendam.Banjir. (15 Juni 2013)

Kompas. (2015). *Pemerintah akan bangun 7 waduk & 100 Embung di NTT* . Diunduh dari http://nasional.kontan.co.id/news/pemerintah-akan-bangun-7-waduk-100-embung-di-ntt/. (20 Agustus 2015)

Pemerintah Provinsi NTT. (2015). *NTT dapat 6 bendungan raksasa*. Diunduh dari http://nttprov.go.id/ntt/ntt-dapat-6-bendungan-raksasa/. (20 Agustus 2015)

Pos Kupang. (2015). *NTT dapat enam bendungan raksasa tahun 2014-2019*. Diunduh dari http://kupang.tribunnews.com/2015/06/21/ntt-dapat-enam-bendungan-raksasa-tahun-2014-2019. (20 Agustus 2015)

Preston, B.L., Yuen, E.J. and Westaway, R.M. (2011). Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits and risks. *Sustainability Science*. Springer. DOI 10.1007/s11625-011-0129-1

Putro, Dwi. (2007). *Fenomena Alam Tidak Bisa Diteba k*. Diunduh dari http://www.suarakarya-online.com/news.html?id=176970. (23 Mei 2008)

Rositasari, R., Wahyu, B., Indarto, H.S., Hasanuddin dan Bayu, P., (2011). Kajian dan prediksi kerentanan pesisir terhadap perubahan iklim: Studi kasus di pesisir Cirebon. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol.3, No.2, Hal. 52-64.

Sakeng, K. (2008). *NTT Rentan Bencana*. Diunduh dari http://www.beritabumi.or.id diakses.(23 Mei 2008)

Sipayung, B.S., Avia, L.Q.,dan Dasanto B.D. (2010). Analisis pola curah hujan indonesia berbasis luaran model sirkulasi global (GCM). *Jurnal Sains & Digantara 4 (2).*

Swandayani, T.H. (2010). *Pemetaan kerentanan masyarakat terhadap perubahan iklim dan adaptasi berbasis ekosistem hutan (studi kasus DAS Ciliwung).* (Tesis) Bogor: Sekolah Pasca Sarjana IPB.

Tempo. (2013). *Banjir genangi ratusan rumah di NTT*. Diunduh dari http://www.tempo.co/read/news/2013/06/09/058486851/Banjir-Genangi-Ratusan-Rumah-di-NTT. (15 Juni 2013).

Tempo. (2012). *403 Desa di NTT Terancam Rawan Pangan*. Diunduh dari http://www.tempo.co/read/news/2012/08/10/173422590/403-Desa-di-NTT-Terancam-Rawan-Pangan. (10 Mei 2013).

TERI [The Energy and Resources Institute]. (2009). Climate change and water vulnerability: strategies and practices for emerging water management and governance challenges - executive summary. *The Energy and Resources Institute*

TERI in collaboration with Yale University to be released during the15th Conference of Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC, 7–18 December 2009, Copenhagen, Denmark.

Tjasyono, B. (2004). Klimatologi *(Cetakan Ke-2)*. Bogor: IPB Press.

Water Aid. (2007). *Climate Change and Water Resources*. London: Water Aid..