

This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

afd4d3775031a826dd211a3f744b37a093ad2f71636c53fdc9f184aaf0471a93

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

PENILAIAN POTENSI LAHAN KRITIS UNTUK PENGEMBANGAN HUTAN TANAMAN ENERGI DI LOMBOK TIMUR (Assessment of Critical Land Potency for Energy Plantation Forest Development in East Lombok)

Budi Hadi Narendra^{*1,2}, Widiatmaka³, Cecep Kusmana⁴, Lina Karlinasari⁵ dan/and Machfud⁶

¹Pogram Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB, Jl. Raya Pajajaran Kampus IPB Baranangsiang, Bogor 16144, Jawa Barat, Indonesia Tel. /Fax. +62 251 8332779

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan, Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor, Jawa Barat, Indonesia Tlp. (0251) 8633234; Fax (0251) 8638111

³Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB, Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia Tel. +62 251 8629354 Fax. +62 251 8629352

⁴Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan IPB, Jl. Ulin, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia, Tel.: +62 251-8621677, Fax.: +62 251-8621256

⁵Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Jl. Ulin, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia, Tel.: +62 251-8621677, Fax.: +62 251-8621256

⁶Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Jl. Kamfer, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia, Tel.: +62 251-8621210, Fax.: +62251-8623203

Info artikel:

ABSTRACT

Keywords:

Critical land,
energy plantation
forest,
land suitability,
GIS, FLOWA

The increasing use of renewable energy sourced from woody biomass should be fulfilled through the development of energy plantation forests. The objectives of this study were to analyze the potential of critical land for energy plantation forests development in East Lombok Regency. The suitability level of available critical land was analyzed based on 20 criteria using GIS-based fuzzy linguistic ordered weighted averaging (FLOWA) method. The results showed that of 52,623 ha of critical land in East Lombok, only 8,442.7 ha (16%) area was potentially available for the development of energy plantation forests. An extremely optimistic scenario resulted that the entire available critical land is very suitable to be developed into energy plantation forests. On the contrary, in an extreme pessimistic scenario, 70% of the critical area was marginally suitable for plantation forest development while the rest was unsuitable. In the neutral scenario, 6,416.9 ha or 76% of the available critical land was very suitable to be developed, while the rest was moderately suitable. In the development of energy plantation forests, the locations covered with shrubs and open land should be prioritized aligned with the development scheme that is adapted to the land status.

Kata kunci:

Lahan kritis,
hutan tanaman
energi,
kesesuaian lahan,
SIG, FLOWA

ABSTRAK

Meningkatnya penggunaan energi terbarukan yang bersumber dari biomassa kayu sudah seharusnya dipenuhi melalui pengembangan hutan tanaman energi. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi lahan kritis untuk pengembangan hutan tanaman energi di Kabupaten Lombok Timur. Tingkat kesesuaian lahan kritis yang tersedia dianalisis berdasarkan 20 kriteria menggunakan metode *fuzzy linguistic ordered weighted averaging (FLOWA)* berbasis sistem informasi geografis (SIG). Hasil penelitian menunjukkan dari 52.623 ha lahan kritis di Lombok Timur, luasan yang tersedia untuk pengembangan hutan tanaman energi adalah 8.422 ha. Pada skenario sangat optimis, keseluruhan lahan kritis tersedia tersebut sangat sesuai untuk dikembangkan. Sebaliknya pada skenario sangat pesimis, 70% luas lahan kritis tersebut kurang sesuai untuk dikembangkan, sedangkan sisanya tidak sesuai. Pada skenario netral, 6.416,9 ha atau 76% dari lahan kritis yang tersedia sangat sesuai untuk dikembangkan, sedangkan sisanya dapat dikategorikan cukup sesuai. Dalam pengembangan hutan tanaman energi, harus diutamakan pada lokasi-lokasi dengan tutupan semak belukar atau lahan terbuka, dengan skema pengembangan disesuaikan dengan status lahannya.

Riwayat Artikel:

Tanggal diterima:
15 Maret 2019;
Tanggal direvisi:
13 Juni 2019;
Tanggal disetujui:
13 Juli 2019

Editor: Rinaldi Imanuddin, S.Hut., M.Sc

Korespondensi penulis: Budi Hadi Narendra* (E-mail: budihadin@yahoo.co.id)

Kontribusi penulis: **BHN**: sebagai kontributor utama, pengambilan data lapangan, penyusunan kuisioner penelitian, analisis data, telaahan secara umum; Kontributor anggota: **W**: telaahan aspek kesesuaian lahan; **CK**: telaahan aspek ekologi; **LK**: telaahan aspek teknologi dan sifat fisik kayu energi, **M**: telaahan aspek fuzzy linguistic metode FLOWA

<https://doi.org/10.20886/jphka.2019.16.2.119-131>

©JPHKA - 2018 is Open access under CC BY-NC-SA license



I. PENDAHULUAN

Besarnya proporsi penggunaan energi yang bersumber dari fosil telah memicu peningkatan kandungan karbon dioksida (CO₂) di atmosfer sebagai penyebab pemanasan global dan perubahan iklim (Höök & Tang, 2013). Untuk mengatasi masalah global ini dan mengantisipasi makin menipisnya cadangan sumber bahan bakar fosil, Pemerintah mendorong penggunaan energi terbarukan termasuk diantaranya bioenergi dari biomassa kayu. Biomassa kayu dapat dikategorikan sebagai sumber energi netral karena CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran dapat diserap kembali melalui proses pertumbuhan tanaman dan disimpan dalam bentuk kayu (Aksyutin, Ishkov, Romanov, Grachev, & Aksyutin, 2018). Sumber-sumber biomassa kayu seperti hutan tanaman energi sangat potensial untuk dikembangkan karena selain menghasilkan bioenergi berkelanjutan dan berperan dalam penyerapan karbon, juga menyediakan jasa ekosistem dari tegakan hutan, serta penyediaan lapangan kerja (Edrisi & Abhilash, 2016; Baral & Lee, 2016).

Kabupaten Lombok Timur memiliki konsumsi terbesar bioenergi berbasis kayu dibandingkan kabupaten lain di Propinsi Nusa Tenggara Barat. Bioenergi ini digunakan untuk konsumsi rumah tangga, industri skala kecil, dan proporsi terbesar digunakan pada industri pengolahan tembakau virginia (Bae et al., 2014). Kecenderungan peningkatan penggunaan bioenergi ini harus disertai dengan pengembangan sumber-sumber penghasilannya. Hal ini melatarbelakangi perlunya pengembangan hutan tanaman yang secara khusus berorientasi memasok kayu untuk bioenergi (Lee et al., 2015; Borchard, Artati, Lee, & Baral, 2017; Jaung et al., 2018).

Dalam rangka peningkatan produktivitas lahan, maka lahan kritis memiliki potensi untuk dipertimbangkan dalam pengembangan hutan tanaman energi. Potensi lahan kritis tersebut disajikan

dalam bentuk peta berisi informasi areal yang tersedia untuk pengembangan meliputi distribusi, luas, dan tingkat kesesuaian lahannya. Kesesuaian lahan sangat penting untuk diperhatikan guna mencegah kerusakan lahan yang berakibat pada kemiskinan dan masalah sosial lainnya (Hardjowigeno & Widiatmaka, 2007; Widiatmaka et al., 2015).

Evaluasi kesesuaian lahan diperkenalkan oleh *Food and Agriculture Organization* (FAO) tahun 1976 dan berkembang untuk evaluasi di bidang kehutanan pada tahun 1984, yang tidak hanya memperhatikan aspek fisik lahan, namun juga memperhitungkan faktor sosial dan ekonomi. Saat ini dua metode evaluasi kesesuaian lahan konvensional yang paling banyak digunakan yaitu *boolean overlay operations* dan *weighted linear combination* (Hariyanto, Ramdani, & Saputra, 2018). Kedua metode ini berkembang menjadi metode *ordered weighted averaging* (OWA). Pada kondisi yang kompleks, pengambil keputusan akan mengalami kesulitan dalam menyajikan informasi spasial secara presisi. Hal ini mendorong perlunya memasukkan konsep *fuzzy linguistic quantifier* ke dalam metode analisis kesesuaian lahan berbasis sistem informasi geografis (SIG) melalui aplikasi OWA. Pengkombinasian OWA dengan konsep *fuzzy linguistic quantifier* ini menghasilkan metode *fuzzy linguistic ordered weighted averaging* atau biasanya disingkat dengan FLOWA (Borouhaki & Malczewski, 2008; Verma & Sharma, 2014).

Beberapa penelitian mengandalkan metode FLOWA karena memiliki cakupan yang lebih luas dalam skenario pengambilan keputusan, serta mampu menampilkan derajat risiko pengambilan keputusan yang menunjukkan besarnya risiko terhadap kesalahan dalam pengambilan keputusan (Cozzi et al., 2015; Romano, Sasso, Liuzzi, & Gentile, 2015; Vettorazzi & Valente, 2016; Mokarram & Hojati, 2017). Penelitian kesesuaian lahan dalam pemanfaatan energi dari biomassa

hutan yang pernah dilakukan masih dalam batas kesesuaian lahan untuk penempatan instalasi pembangkit listriknya, dan seleksi tipe biomassa yang optimal (Perpina, Martinez-Llario, & Perez-Navarro, 2013; Recanatesi, Tolli, & Lord, 2014; Saelee et al., 2014). Mengingat evaluasi kesesuaian lahan untuk lokasi hutan tanaman energi belum pernah dilakukan, maka hasil dari penelitian ini menjadi sangat penting.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, penelitian ini bertujuan menganalisis potensi lahan kritis meliputi ketersediaan dan tingkat kesesuaiannya sebagai lokasi pengembangan hutan tanaman energi menggunakan metode FLOWA berbasis SIG.

II. BAHAN DAN METODE

A. Lokasi Penelitian

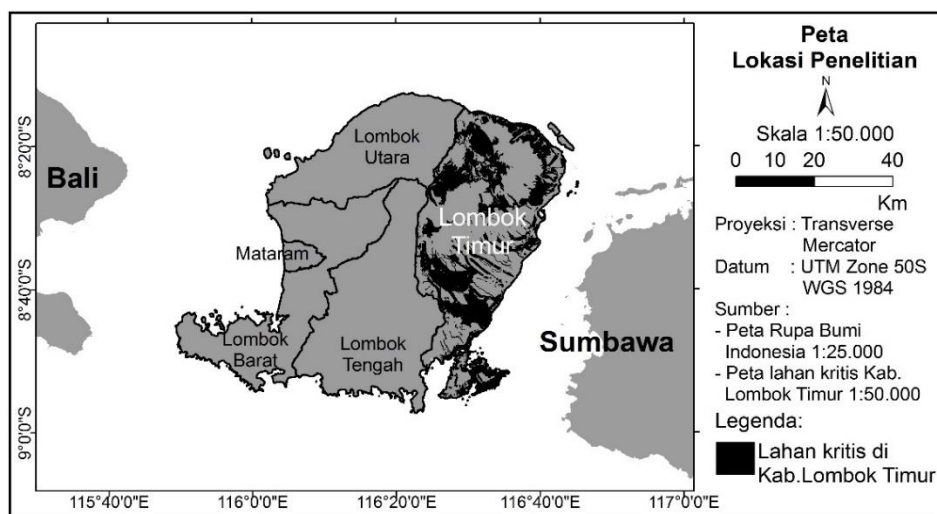
Penelitian ini dilaksanakan pada areal lahan kritis yang ada di Kabupaten Lombok Timur, Propinsi Nusa Tenggara Barat seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Kabupaten Lombok Timur memiliki luas daratan 161.000 km² dengan topografi mulai dari daerah pegunungan dengan puncak tertinggi 3.726 m dpl hingga daerah pantai (BPS, 2018). Penelitian dilaksanakan Bulan Januari sampai Oktober 2018.

B. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa seperangkat komputer dengan perangkat lunak *ArcGIS* 10.0 dan *Microsoft office* 2013, *global positioning system (GPS)*, kamera, dan peralatan pengambil sampel tanah. Bahan yang digunakan yaitu peta topografi (Rupa Bumi Indonesia) skala 1:50.000, peta lahan kritis skala 1:50.000, peta tanah dan karakteristik lahan skala 1:50.000, citra satelit Spot 7 tahun 2017, peta *digital elevation model (DEM)*, peta rencana tata ruang wilayah (RTRW) Kabupaten Lombok Timur, peta penetapan kawasan hutan skala 1:250.000, dan data iklim harian 10 tahun terakhir meliputi curah hujan dan suhu udara.

C. Metode dan Analisis Data

Dalam penelitian ini, potensi lahan kritis ditentukan berdasarkan ketersediaan dan tingkat kesesuaian lahan kritis untuk lokasi pengembangan hutan tanaman energi. Peta lahan kritis yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil deliniasi menggunakan teknik *overlay* berdasarkan parameter-parameter hasil penyempurnaan dari petunjuk teknis penyusunan lahan kritis (Narendra, Widiatmaka, Kusmana, Karlinasari, & Machfud, 2018).



Gambar (Figure) 1. Lokasi penelitian (Research site)

Ketersediaan lahan kritis untuk lokasi pengembangan hutan tanaman energi dianalisis secara spasial berdasarkan data sekunder berupa peta penetapan fungsi kawasan hutan, peta pola ruang RTRW Kabupaten Lombok Timur tahun 2012-2032 (Perda Kabupaten Lombok Timur nomor 2, 2012), dan peta kondisi aktual penggunaan lahan (Widiatmaka et al., 2015). Dalam analisis spasial ini, luasan lahan tersedia merupakan luasan lahan kritis (meliputi kriteria sangat kritis, kritis, dan agak kritis) dikurangi dengan luasan lahan yang tidak dimungkinkan untuk dikembangkan sebagai hutan penghasil biomassa kayu (*constrain areas*) meliputi kawasan hutan lindung, kawasan hutan konservasi, kawasan lindung yang ditetapkan dalam rencana tata ruang, areal pertanian produktif, dan areal yang telah memperoleh ijin usaha. Analisis spasial ketersediaan lahan ini dilakukan menggunakan *erase tool* pada perangkat lunak *ArcGIS*.

Areal lahan kritis yang tersedia untuk pengembangan, selanjutnya dianalisis tingkat kesesuaiannya menggunakan metode FLOWA dalam bentuk modul yang terintegrasi dengan perangkat lunak *ArcGIS* (Boroushaki & Malczewski, 2008). Analisis spasial multi kriteria ini mengintegrasikan parameter ekologi, ekonomi dan sosial. Kriteria pada tiap parameter dan masing-masing tingkat kepentingannya (bobot) ditetapkan berdasarkan telaahan literatur dan wawancara dengan 12 orang pakar menggunakan prinsip perbandingan berpasangan pada metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 2008; Widiatmaka, Ambarwulan, & Sudarsono, 2016). Parameter dan kriteria yang dipilih diharapkan mewakili lingkup pengambilan keputusan, berkontribusi terhadap tujuan akhir, dengan mempertimbangkan ketersediaan data.

Dalam metode FLOWA, selain pembobotan kriteria yang didasarkan pada tingkat kepentingan suatu kriteria relatif

terhadap kriteria lainnya, juga dilakukan pembobotan tahap kedua berdasarkan urutan nilai tiap kriteria. Pada pembobotan tahap kedua, bobot suatu kriteria ditentukan berdasarkan nilai kriteria tersebut pada lokasi tertentu (Boroushaki & Malczewski, 2008).

Dalam analisis spasial kesesuaian lahan, setiap kriteria evaluasi diwujudkan dalam bentuk peta yang berisi nilai (skor) kriteria dari setiap unit lahan. Unit lahan ini merupakan poligon-poligon yang disusun berdasarkan tumpang susun (*overlay*) dari semua peta kriteria yang digunakan dalam analisis kesesuaian lahan. Masing-masing kriteria dari tiap unit lahan akan memiliki nilai sesuai tingkat kesesuaiannya untuk hutan tanaman energi dengan rentang nilai mulai dari 0,0 sampai 1,0 (Rinner & Voss, 2013). Pada analisis kesesuaian ini, jenis tanaman kayu energi yang diujikan adalah *Leucaena leucocephala* (lamtoro), *Calliandra calothyrsus* (kaliandra), *Gliricidia sepium* (gamal), dan *Acacia auriculiformis* (akasia). Keempat jenis ini di Pulau Lombok telah dimanfaatkan sebagai kayu energi dan secara teknis memenuhi syarat untuk dikembangkan karena pertumbuhannya cepat, memiliki percabangan yang lebat, mudah tumbuh pada berbagai kondisi tempat tumbuh, cepat bertunas setelah dipangkas, berat jenisnya tinggi, dan kayunya bernilai kalor tinggi (Jaung et al., 2018). Dalam analisis kesesuaian pada parameter ekologi, skoring dilakukan berdasarkan gabungan persyaratan tumbuh keempat jenis tanaman tersebut yang tercantum pada Tabel 1.

Setelah diperoleh bobot untuk tiap kriteria dan skor masing-masing kriteria pada tiap unit lahan (lokasi), dilanjutkan dengan menginput peta tiap kriteria ke dalam *ArcGIS* dan secara matematis *tool* OWA akan melakukan penghitungan mengikuti Persamaan (1) (Boroushaki & Malczewski, 2008).

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n u_j z_{ij}; u_j = \frac{v_j w_{j(*)}}{\sum_{j=1}^n v_j w_{j(*)}}$$

$$v_j = \left(\sum_{k=1}^j u_k\right)^\alpha - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k\right)^\alpha$$

$$0 \leq v_j \leq 1 \text{ dan } \sum_{j=1}^n v_j = 1 \quad (1)$$

Dimana: i = lokasi ke i ; j = kriteria ke-1 sampai n ; n = banyaknya kriteria; x_{ij} = nilai (skor) atribut; w_j = bobot kriteria; z_{ij} = nilai kriteria (x_{ij}) setelah diurutkan; u_j = bobot kriteria mengikuti urutan z_{ij} ; v_j = bobot urutan ke j ; $w_{j(*)}$ = bobot kriteria setelah diurutkan; α = identitas *quantifier*.

Salah satu keunggulan dari penggunaan metode FLOWA adalah kemampuannya mengakomodasi faktor

ketidakpastian dan tingkat keoptimisan dari pembuat keputusan. Dengan mengganti nilai α (identitas *quantifier*) dari 0 sampai tak terhingga (∞), pengguna dapat mengembangkan alternatif strategi keputusan secara luas mulai dari strategi sangat optimis ($\alpha \approx 0$) yang melambangkan *linguistic quantifier* (Q) “at least one (yang artinya untuk memperoleh lahan yang sesuai, minimal satu kriteria harus terpenuhi) sampai strategi sangat pesimis ($\alpha \approx \infty$) yang melambangkan *quantifier* “all” (yang artinya suatu unit lahan masuk kategori sesuai, jika semua kriteria terpenuhi). Pada posisi $\alpha = 1$, menunjukkan sikap netral yang melambangkan *quantifier* “half” (yang artinya untuk mencapai kesesuaian lahan, setengah dari kriteria harus terpenuhi) (Boroushaki & Malczewski, 2008).

Tabel (Table) 1. Persyaratan tumbuh untuk tanaman kayu energi (*Growth requirement for energy wood plant*)

Kualitas/Karakteristik Lahan (<i>Land quality/characteristics</i>)	Kelas kesesuaian lahan (<i>Land suitability class</i>)			
	Sangat sesuai (<i>Very suitable</i>)	Cukup sesuai (<i>Moderately suitable</i>)	Kurang sesuai (<i>Marginally suitable</i>)	Tidak sesuai (<i>Unsuitable</i>)
Suhu rata-rata tahunan (<i>Annual average temperature</i>) (°C)	28 - 23	22 - 18	17 - 16	<16
Curah hujan tahunan (<i>Annual rainfall</i>) (mm)	>1300	1300 - 1000	600 - <1000	<600
Drainase (<i>Drainage</i>)	Baik (<i>well</i>), sedang (<i>moderately well</i>)	Agak cepat (<i>moderately fast</i>), agak terhambat (<i>moderately poor</i>)	Terhambat (<i>poorly</i>), Cepat (<i>fast</i>)	Sangat terhambat (<i>very poor</i>), sangat cepat (<i>very fast</i>)
Tekstur (<i>Texture</i>)	Agak halus (<i>moderately fine</i>), sedang (<i>medium</i>)	Agak kasar (<i>moderately coarse</i>), halus (<i>fine</i>)	Sangat halus (<i>very fine</i>),	Kasar (<i>coarse</i>)
Kedalaman efektif (<i>Effective depth</i>) (cm)	>100	75 - 100	50 - <75	<50
KTK (CEC)(cmol)	>16	≤16		
pH H ₂ O	6,1 – 7,2	5,5 – 6,0 7,3 – 7,5	4,5 – 5,4	<4,5 >7,5
C organik (<i>Organic-C</i>) (%)	>0,4	≤0,4		
Batuan permukaan (<i>Surface rock</i>) (%)	< 4	4 - 15	>15 - 40	>40
Kemiringan lereng (<i>Slope</i>) (%)	<8	8 - <16	16 - 30	>30

Sumber (*Sources*): Modifikasi dari (modification from) Djaenuddin et al., 1994; Hardjowigeno & Widiatmaka, 2007; Susilo, Kusumastuti, Suranindyah, & Suwignyo, 2012

Peta yang dihasilkan akan menunjukkan strategi keputusan yang berhubungan dengan nilai α . Nilai kesesuaian lahan yang dihasilkan dari analisis FLOWA diklasifikasikan ke dalam empat level berdasarkan sistem FAO yaitu sangat sesuai (0,75 – 1,0), cukup sesuai (0,50 – 0,74), kurang sesuai (0,25 – 0,49), dan tidak sesuai (0 – 0,24) (Chen, Khan & Paydar, 2010). Pada tahap akhir akan dihasilkan peta tingkat kesesuaian lahan multi kriteria yang telah mengakomodir aspek ekologi, ekonomi, dan sosial. Tabulasi dilakukan untuk mengetahui sebaran spasial tiap tingkat kesesuaian terhadap status lahannya sehingga akan membantu pengambil kebijakan dalam mengarahkan skema pemanfaatan lahan kritis untuk pengembangan hutan tanaman energi di Lombok Timur.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Ketersediaan Lahan

Peta lahan kritis Kabupaten Lombok Timur menunjukkan adanya lahan kritis seluas 52.623 ha, sisanya berupa lahan potensial kritis 90.910 ha, dan tidak kritis 17.738 ha (Narendra, Widiatmaka, Kusmana, Karlinasari, & Machfud, 2018). Dalam penelitian ini, analisis ketersediaan menghasilkan lahan yang tersedia untuk pengembangan hutan tanaman energi seluas 8.442,7 hektar atau 16% dari keseluruhan luasan lahan kritis. Seperti terlihat pada Gambar 2, lahan yang tersedia ini tersebar pada areal penggunaan lain (APL) seluas 6.028,1 ha dan pada kawasan hutan produksi seluas 2.414,6 ha.

Ketersediaan lahan untuk pengembangan hutan tanaman energi lebih banyak tersebar pada wilayah utara Kabupaten Lombok Timur, terutama di Kecamatan Sambelia dan Sembalun. Pada wilayah selatan, ketersediaan lahan hanya berada di APL terutama di Kecamatan Jerowaru.

B. Kesesuaian Lahan

Pada tahap analisis kesesuaian lahan, diperoleh 20 kriteria penilaian kesesuaian lahan pada parameter ekologi, ekonomi dan sosial. Hasil pembobotan terhadap ketiga parameter dan kriteria kesesuaian lahan tercantum pada Tabel 2. Pada analisis pembobotan dihasilkan nilai *consistency ratio* (CR) 0,02 yang menunjukkan adanya konsistensi (CR<0,1) dari penilaian oleh para pakar melalui pengisian kuesioner, sehingga nilai bobotnya valid dan dapat digunakan pada tahap selanjutnya (Saaty, 2008).

Parameter ekologi memiliki peran terbesar dengan bobot 0,62 diikuti parameter ekonomi (0,27) dan sosial (0,11). Diantara keseluruhan kriteria kesesuaian lahan yang digunakan, curah hujan memiliki bobot tertinggi. Hal ini menjadi pertimbangan utama karena Kabupaten Lombok Timur memiliki variabilitas curah hujan tahunan yang cukup tinggi antar wilayahnya mulai dari 817 hingga 2.197 mm/th.

Bahan organik tanah memiliki bobot terbesar kedua, menunjukkan dalam pengelolaan hutan tanaman, kendala terkait ketersediaan air maupun hara dalam ekosistem paling sering ditemui sehingga kedua faktor tersebut sering menjadi faktor pembatas (*limiting factor*) yang harus menjadi pertimbangan utama dalam strategi pengelolaannya (Sprenger et al., 2013; Smethurst, Almeida, & Loos, 2015). Informasi ini sangat penting karena siklus air dan hara merupakan bagian yang vital dalam suatu ekosistem hutan tanaman terutama dalam proses-proses bio-kimia dalam ekosistem baik di dalam tanah maupun di atas permukaan tanah.

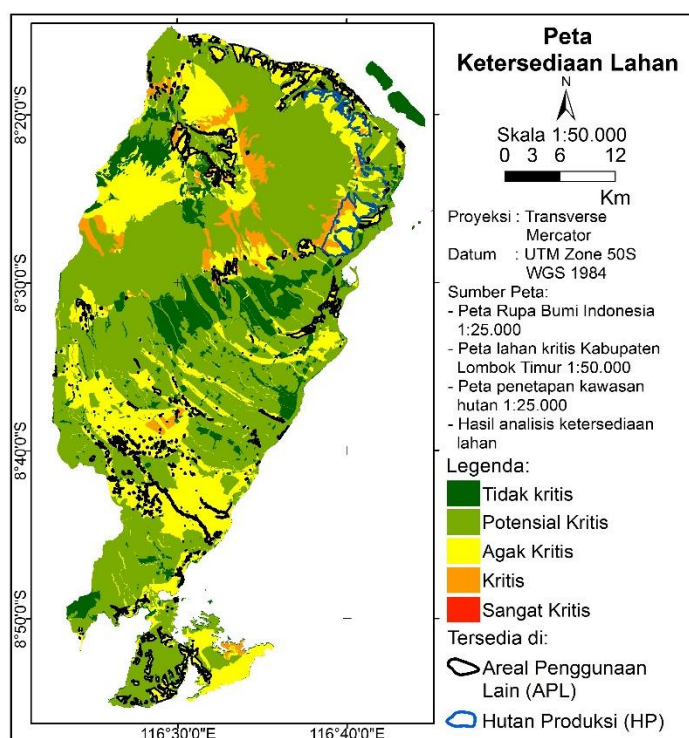
Peta dari tiap-tiap kriteria kesesuaian lahan ditumpangsusunkan untuk menghasilkan peta unit lahan. Pemberian skor terhadap masing-masing kriteria pada tiap unit lahan dilakukan berdasarkan berbagai sumber data. Data sekunder diperoleh pada beberapa instansi pemerintah, sedangkan data primer diperoleh melalui analisis 130 buah

sampel tanah, pengamatan di lapangan, wawancara, dan analisis spasial. Peta-peta hasil skoring tersebut bersama dengan bobot tiap kriteria merupakan input dalam penetapan tingkat kesesuaian lahan menggunakan metode FLOWA. Penggunaan beberapa skenario analisis (*quantifier*) menghasilkan tingkat kesesuaian lahan yang tercantum pada Tabel 3 dan sebaran spasialnya disajikan pada Gambar 3.

Nilai α yang mendekati nol menunjukkan pilihan strategi optimistik yang ekstrim (sangat optimis) dimana tiap lokasi memiliki nilai peluang 1 untuk menghasilkan nilai tertinggi yang memungkinkan. Pada kondisi ini, hampir seluruh areal akan menghasilkan status “sesuai” (Borouhaki & Malczewski, 2008) seperti yang terlihat pada hasil penelitian ini. Pada Tabel 3 terlihat pada nilai α mendekati nol, keseluruhan lahan kritis yang tersedia yaitu seluas 8.442,7 ha memiliki kriteria “sangat sesuai” untuk ditanami menjadi hutan tanaman energi dengan jenis tanaman lamtoro, gamal,

kaliandra, atau akasia. Dengan memilih strategi ini, pengambil keputusan dapat menggunakan hanya satu kriteria untuk memutuskan tingkat kesesuaian suatu unit lahan, namun skenario ini memiliki tingkat risiko yang sangat tinggi sehingga harus diperhitungkan kemampuan sumberdaya daerah dalam mengantisipasinya.

Pada skenario netral ($\alpha=1$) dimana terjadi *full trade-off* antar kriteria, nilai atribut dari setiap kriteria dalam suatu lokasi akan memiliki bobot urutan yang sama, sehingga besarnya nilai dari tiap kriteria dalam suatu lokasi akan memiliki peluang yang sama. Pada penelitian ini posisi $\alpha=1$ menunjukkan sebagian besar (76%) lahan kritis tersedia dengan kriteria sangat sesuai, sedangkan sisanya cukup sesuai. Hasil dari skenario ini akan setara dengan yang dihasilkan metode konvensional *weighted linear combination* dimana bobot urutan (v_j) bernilai sama untuk setiap kriteria. Para pihak yang memilih untuk menerapkan skenario ini akan memiliki risiko kesalahan menengah (sedang).



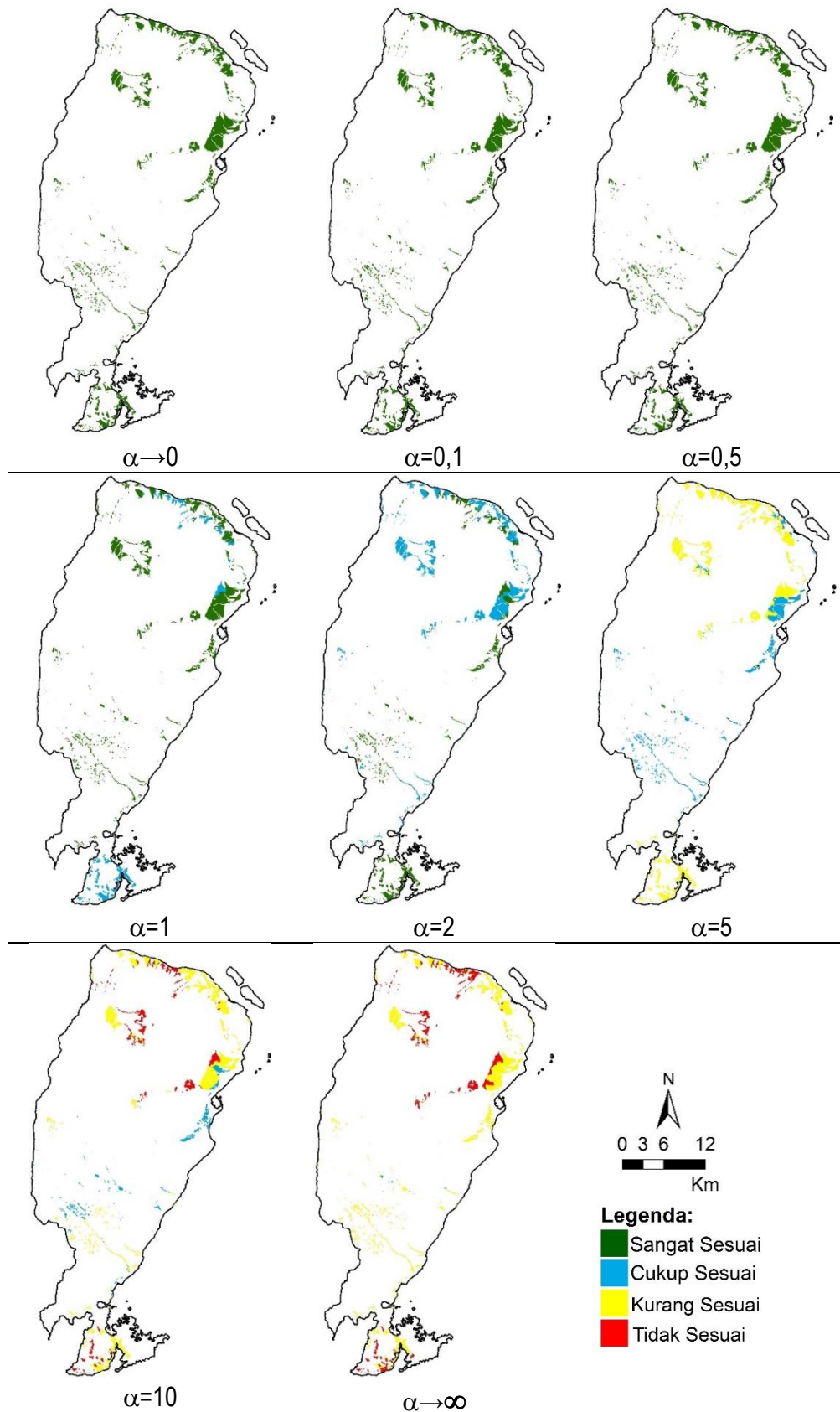
Gambar (Figure) 2. Ketersediaan lahan untuk pengembangan hutan tanaman energi di areal lahan kritis (*Land availability for development of energy plantation forest in critical land area*)

Tabel (Table) 3. Hasil tabulasi tingkat kesesuaian lahan (*Tabulation result of land suitability level*)

<i>Quantifier</i> (tingkat keoptimisan)	Tingkat at Risiko (<i>Risk level</i>)	Status Lahan (<i>Land status</i>)	Luas tingkat kesesuaian (<i>Area of suitability level</i>) (ha)			
			Sangat sesuai (<i>Very suitable</i>)	Cukup sesuai (<i>Moderately suitable</i>)	Kurang sesuai (<i>Marginally suitable</i>)	Tidak sesuai (<i>Unsuitable</i>)
<i>At least one</i> $\alpha \rightarrow 0$ Sangat optimis (<i>very optimistic</i>)	1	APL (<i>non forest area</i>)	6.028,1	-	-	-
	Sangat	HP (<i>production forest area</i>)	2.414,6	-	-	-
	Tinggi	Jumlah (<i>total</i>)	8.442,7	-	-	-
	(<i>very high</i>)	%	100	-	-	-
<i>Half</i> $\alpha = 1$ netral (<i>neutral</i>)	0,5	APL (<i>non forest area</i>)	4.574,0	1.454,1	-	-
	Sedang	HP (<i>production forest area</i>)	1.842,9	571,8	-	-
	(<i>moderate</i>)	Jumlah (<i>total</i>)	6.416,9	2.025,8	-	-
		%	76,0	24,0	-	-
<i>Many</i> $\alpha = 2$ Cukup Pesimis (<i>moderately pesimistic</i>)	*	APL (<i>non forest area</i>)	2.696,9	3.331,1	-	-
		HP (<i>production forest area</i>)	777,2	1.637,5	-	-
		Jumlah (<i>total</i>)	3.474,1	4.968,6	-	-
		%	41,2	58,8	-	-
<i>Most</i> $\alpha = 10$ Pesimis (<i>pesimistic</i>)	*	APL (<i>non forest area</i>)	-	979,7	3.520,5	1.527,8
		HP (<i>production forest area</i>)	-	214,4	1.942,4	257,9
		Jumlah (<i>total</i>)	-	1.194,1	5.462,9	1.785,7
		%	-	14,1	64,7	21,2
<i>All</i> $\alpha \rightarrow \infty$ Sangat pesimis (<i>very pesimistic</i>)	0	APL (<i>non forest area</i>)	-	35,5	3.936,0	2.056,6
	Sangat	HP (<i>production forest area</i>)	-	0	1.955,9	458,7
	rendah	Jumlah (<i>total</i>)	-	35,5	5.891,9	2.515,3
	(<i>very low</i>)	%	-	0,4	69,8	29,8

Penetapan nilai α mendekati tak terhingga merupakan skenario ekstrim pesimis (sangat pesimis), dimana dari sudut pandang probabilistik, nilai peluang 1 ditujukan pada skenario kondisi terburuk dan tiap lokasi memiliki nilai atribut terendah serta tidak ada *trade-off* antar kriteria. Pada skenario ini, peta yang dihasilkan akan menunjukkan luasan

lahan yang “sesuai” sangat minim atau hampir tidak ada seperti terlihat pada Tabel 3 yang hanya menghasilkan 70% luasan lahan dengan kriteria kurang sesuai, dan sisanya tidak sesuai. Hasil dari skenario ini menunjukkan kemungkinan terburuk dari hasil analisis kesesuaian lahan namun dengan tingkat risiko nol.



Gambar (Figure) 4. Tingkat kesesuaian lahan pada tiap level *quantifier* (Land suitability level for each quantifier level)

Peningkatan nilai alpha dari 0 menuju tak hingga menggambarkan peningkatan derajat optimisme serta peningkatan peluang *trade-off* antar kriteria. Hal ini berimplikasi pada nilai kriteria dengan rangking makin baik, akan seiring dengan peningkatan peluangnya (bobot urutannya). Hasilnya akan menunjukkan peta areal yang “sesuai” makin meluas. Peningkatan nilai ORness dari 0,5 ke 1 menunjukkan peningkatan optimisme dan penurunan level *trade-off* antar kriteria.

Hingga pada tahap ini, pengambil keputusan dapat menerapkan skenario netral ($\alpha = 1$) dalam perencanaan pengembangan hutan tanaman energi, dengan pertimbangan skenario ini memiliki tingkat risiko kegagalan menengah sehingga dapat diantisipasi dengan mengoptimalkan sumber daya di daerah. Selain itu dengan memilih skenario ini, sumberdaya yang diperlukan untuk melaksanakan pengembangan tidak perlu dimaksimalkan mengikuti total luasan lahan tersedia (8.442,7 ha), namun dapat dilakukan secara bertahap dengan prioritas pada luasan lahan yang sangat sesuai (6.416,9 ha), terutama pada lahan kritis dengan penutupan semak belukar, tanah terbuka, atau padang rumput yang luasnya mencapai 1.930,8 ha (30,1%).

Dalam pelaksanaan pengembangan, pemilihan skenario kesesuaian lahan pada metode FLOWA ini masih perlu mempertimbangkan faktor finansial. Kajian lebih detil diperlukan guna menilai kondisi finansial masyarakat dan pemerintah dalam melaksanakan suatu skenario, serta manfaat finansial yang dapat diperoleh dari skenario yang dikaji (Mokarram dan Hojati 2017).

Berdasarkan sebaran spasialnya, lokasi lahan kritis dengan tingkat kesesuaian “sangat sesuai” lebih banyak berada di bagian utara Lombok Timur, yang banyak ditutupi belukar dengan karakteristik iklim dan tanah yang relatif lebih baik. Level “cukup sesuai” banyak tersebar di bagian timur dimana belukar

dan pertanian lahan kering mendominasi areal ini, dan curah hujannya relatif lebih rendah dibandingkan daerah di utara. Dalam pengembangan hutan tanaman energi, harus dipertimbangkan untuk memprioritaskan pemanfaatan lahan terdegradasi yang ditutupi oleh semak belukar atau lahan lain yang tidak digunakan seperti padang rumput dan tanah terbuka.

Perencanaan pengembangan pembangunan hutan tanaman energi di APL dapat dilakukan menggunakan skema hutan rakyat, sedangkan di kawasan hutan negara, hutan tanaman energi hanya dapat dibangun di dalam kawasan hutan produksi menggunakan skema hutan tanaman industri (HTI), hutan tanaman rakyat (HTR), atau skema perhutanan sosial lainnya.

Meskipun lahan kritis bukan merupakan lahan yang ideal untuk budidaya hutan, namun praktik pengelolaan lahan secara optimal dapat mendukung produktivitas biomassa kayu. Optimasi pengelolaan hutan tanaman energi selain melalui penggunaan spesies yang sesuai, juga dilakukan melalui optimasi input pupuk organik, pengaturan waktu panen, dan penanganan ketersediaan air (Stolarski, Krzyżaniak, Szczukowski, Tworkowski, & Bieniek, 2014). Pemanfaatan sumber daya air tidak hanya menjadi perhatian dalam produksi biomassa tetapi juga merupakan masalah kritis untuk kelestarian lingkungan (Mehmood et al., 2017).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Potensi lahan yang diperoleh melalui analisis ketersediaan dan kesesuaian lahan menunjukkan, 8.442,7 hektar atau 16% dari keseluruhan luasan lahan kritis tersedia untuk dikembangkan menjadi hutan tanaman energi. Pada skenario sangat optimis, keseluruhan lahan kritis tersedia tersebut sangat sesuai untuk dikembangkan, sedangkan pada

skenario sangat pesimis, 70% luasan lahan kurang sesuai untuk dikembangkan dan 30% sisanya tidak sesuai. Pada skenario netral, terdapat 6.416,9 ha atau 76% lahan kritis tersedia yang sangat sesuai untuk dikembangkan, sedangkan sisanya cukup sesuai.

Pengambil keputusan dapat menerapkan skenario netral dengan pertimbangan tingkat risiko kegagalannya menengah sehingga dapat diantisipasi dengan kesiapan sumber daya yang optimal. Dengan skenario ini prioritas pengembangan dapat dilakukan secara bertahap pada lahan kritis yang sangat sesuai berpenutupan semak belukar, padang rumput, atau tanah terbuka yang luasnya mencapai 1930,8 ha.

B. Saran

Skema hutan rakyat sebagai penghasil biomassa kayu dapat diterapkan pada lahan berstatus areal penggunaan lain, sedangkan di kawasan hutan produksi, hutan tanaman energi dapat dibangun dengan skema hutan tanaman industri, hutan tanaman rakyat, atau skema perhutanan sosial lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas pembiayaan penelitian ini melalui skema Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT), dan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan atas pemberian Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI), serta kepada semua pihak yang telah membantu pemenuhan data, informasi, dan perijinan yang diperlukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksyutin, O.E., Ishkov, A.G., Romanov, K.V., & Grachev, V.A. (2018). The carbon footprint of natural gas and its role in the carbon footprint of energy production. *International Journal of GEOMATE*, 15, 155-160.
- Bae, J.S., Kim, C., Kim, Y.S., Latifah, S., Afifi, M., Fisher, L.A., ... Kim, J.S. (2014). Opportunities for Implementing REDD+ to Enhance Sustainable Forest Management and Improve Livelihoods in Lombok, NTB, Indonesia. Working Paper. Bogor (ID): CIFOR. 151 p.
- Baral, H., & Lee, S.M. (2016). Sustainable Bioenergy Systems to Restore and Valorize Degraded Land. Brief no. 37 Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia.
- Borchard, N., Artati, Y., Lee, S.M., & Baral, H. (2017). Sustainable Forest Management for Land Rehabilitation and Provision of Biomass-Energy. Brief no.41 Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia.
- Borouhaki, S., & Malczewski, J. (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 34, 399–410. doi:10.1016/j.cageo.2007.04.003
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2018). *Lombok Timur dalam Angka 2018*. Selong: Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Timur.
- Chen, Y., Khan, S., & Paydar, Z. (2010). To retire or expand. A fuzzy GIS-based spatial multi-criteria evaluation framework for irrigated agriculture. *Irrigation and Drainage*, 59(2), 17–188. doi:10.1002/ird.470.
- Cozzi, M., Viccaro, M., Napoli, F.D., Fagarazzi, C., Tirinnanzi, A., & Romano, S. (2015). A spatial analysis model to assess the feasibility of short

- rotation forestry fertigated with urban wastewater: Basilicata region case study. *Agricultural Water Management*, 159, 185-196. doi:10.1016/j.agwat.2015.06.010.
- Djaenudin, D., Basuni, Hardjowigeno, S., Subagyo, H., Soekardi, M., Ismangun, ... Jordens, E.R. (1994). *Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Pertanian dan Tanaman Kehutanan*. Bogor: Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Edrisi, S.A., & Abhilash, P.C. (2016). Exploring marginal land degraded lands for biomass and bioenergy production: an Indian scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1537-1551.
- Hardjowigeno, S., & Widiatmaka. (2007). *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tataguna Lahan*. Yogyakarta: UGM Pr.
- Hariyanto, M.H.S., Ramdani, F., & Saputra, M.C. (2018). Sistem informasi geografis kesesuaian lahan perumahan di Kota Malang menggunakan metode MCE. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* 2(1), 263-272
- Höök, M., & Tang, X. (2013). Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change - a review. *Energy Policy*, 52, 797-809.
- Jaung, W., Wiraguna, E., Okarda, B., Artati, Y., Goh, C.S., Syahru, R., ...Baral H. (2018). Spatial assessment of degraded land for biofuel production in Indonesia. *Sustainability*, 10, 1-17.
- Lee, S.M., Kim, Y., Jaung, W., Latifah, S., Afifi, M., & Fisher, L.A. (2015). Forest, fuelwood and livelihoods-energy transition patterns in eastern Indonesia. *Energy Policy*, 85, 61-70. doi:10.3906/tar-1404-20.
- Mehmood, M.A., Ibrahim, M., Rashid, U., Nawaz, M., Ali, S., & Hussain, A. (2017). Biomass production for bioenergy using marginal lands. *Sustainable Production and Consumption*, 9, 3-21. doi:10.1016/j.spc.2016.08.003.
- Mokarram, M., & Hojati, M. (2017). Using ordered weight averaging (OWA) aggregation for multi-criteria soil fertility evaluation by GIS (case study: Southeast Iran). *Computer and Electronics in Agriculture*, 132, 1-13.
- Narendra, B.H., Widiatmaka, Kusmana, C., Karlinasari, L., & Machfud (2018). Critical land mapping for the development of biomass-based energy in East Lombok Regency, Indonesia. *Earth and Environmental Science* (proses terbit).
- Peraturan Daerah Kabupaten Lombok Timur No. 2. (2012). Rencana tata ruang wilayah Kabupaten Lombok Timur Tahun 2012 – 2032.
- Perpina, C., Martinez-Llario, J.C., Perez-Navarro, A. (2013). Multicriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants. *Land Use Policy*, 31, 326-335. doi: 10.1016/j.landusepol.2012.07.014.
- Recanatesi, F., Tolli, M., Lord, R. (2014). Multi criteria analysis to evaluate the best location of plants for renewable energy by forest biomass: a case study in Central Italy. *Applied Mathematical Sciences*, 8(129), 6447–6458. doi:10.12988/ams. 2014. 46451.
- Rinner, C., & Voss, S. (2013). MCDA4ArcMap - An Open-Source Multi-Criteria Decision Analysis and Geovisualization Tool for ArcGIS 10. *Newsletter of the Canadian Cartographic Association*, 86, 12-13
- Romano, G., Sasso, P.D., Liuzzi, G.T., & Gentile, F. (2015). Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. *Land Use Policy*, 48, 131–143. doi:10.1016/j.landusepol.2015.05.013.

- Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Service Science*, 1, 83-98.
- Saelee, S., Paweewan, B., Tongpool, R., Witoon, T., Takada, J., & Manusboonpurmpool, K. (2014). Biomass type selection for boilers using TOPSIS multi-criteria model. *International Journal of Environmental Science and Development*, 5(2), 181-186. doi:10.7763/IJESD.2014.V5.474.
- Smethurst, P.J., Almeida, A.C., & Loos, R.A. (2015). Stream flow unaffected by Eucalyptus plantation harvesting implicates water use by the native forest streamside reserve. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 187-198. doi:10.1016/j.ejrh.2014. 11.002.
- Sprenger, M., Oelmann, Y., Weihermüller, L., Wolf, S., Wilcke, W., & Potvin, C. (2013). Tree species and diversity effects on soil water seepage in a tropical Plantation. *Forest Ecology and Management*, 309, 76-86. doi:10.1016/j.foreco.2013. 03.022.
- Stolarski, M.J., Krzyżaniak, M., Szczukowski, S., Tworkowski, J., & Bieniek, A. (2014). Short Rotation Woody Crops Grown on Marginal Soil for Biomass Energy. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(5), 1727-1739
- Susilo, B., Kusumastuti, T.A., Suranindyah, Y., & Suwignyo, B. (2012). Kesesuaian lahan hijauan pakan kambing di Yogyakarta menggunakan pendekatan sistem informasi geografis. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 19(3), 255-263.
- Verma, R. & Sharma, B.D. (2014). Trapezoid fuzzy linguistic prioritized weighted average operators and their application to multiple attribute group decision-making. *Journal of Uncertainty Analysis and Applications*, 2, 1-10. doi: 10.1186/2195-5468-2-10.
- Vettorazzi, C.A., & Valente, R.A. (2016). Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources. *Ecological Engineering*, 94, 255-267. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.05.069.
- Widiatmaka, Ambarwulan, W., Sutandi, A., Murtilaksono, K., Munibah, K., & Daras, U. (2015). Suitable and available land for cashew (*Anacardium occidentale* L.) in the island of Lombok, Indonesia. *Journal of Applied Horticulture*, 17(2), 129-139.
- Widiatmaka, Ambarwulan, W., & Sudarsono. (2016). Spatial multi-criteria decision making for delimiting agricultural land in Jakarta metropolitan area's hinterland: case study of Bogor Regency, West Java. *Agrivita*, 38(2), 105-115