



LOKASI PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU MENGGUNAKAN METODE SIG DI PROVINSI GORONTALO

Ghinia Anastasia Muhtar

Program Studi Prodi Geologi, Universitas Bosowa, 90231, Indonesia

*Email: ghiniastraw@gmail.com

ABSTRACT

An analytical study is conducted on the potential of wind energy in Gorontalo Province for wind plant development considering that many developing countries had done so. Wind speed in each region in Gorontalo Province was statistically analyzed, identified potential areas, and calibrated wind speed to wind power density. Based on KTA value it results 3 category, namely good (20 watt/meter² - 23 watt/meter²), enough (12 watt/meter² - 20 watt/meter²) and poor (7 watt/meter² - 12 watt/meter²). Then only the KTA value in the good and enough category are used as the land suitability standard. Multi criteria used here is buffering technique by giving a distance between land that can be built by wind plant and land that cannot be built by wind plant. There are 6 layers used in multi criteria, 4 layers use buffering techniques (land use and land cover, land sanctuary, road and public transport terminal), while the other 2 are reclass (lereng and KTA). GIS is used for mapping the distribution of land suitability with the overlay and separation method. The results, total area of land suitability start from 1 hectare until 3.413 hectares. There are ten sub-districts which have land suitability more than 1.200 hectares, namely Kwandang, Dulupi, Anggrek, Bongomeme, Tibawa, Pulubala, Wonosari, Sumalata, Boliyohuto and Paguyaman (largest to smallest).

Keywords: Land suitability, wind plant, GIS, Indonesia

ABSTRAK

Sebuah studi analitik dilakukan terhadap potensi energi angin di Provinsi Gorontalo untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin mengingat banyak negara berkembang telah melakukannya. Kecepatan angin di setiap wilayah di Provinsi Gorontalo dianalisis secara statistik, mengidentifikasi wilayah potensial, dan kecepatan angin yang dikalibrasi untuk kepadatan tenaga angin. Berdasarkan nilai KTA menghasilkan 3 kategori, yaitu baik (20 watt/meter² - 23 watt/meter²), cukup (12 watt/meter² - 20 watt/meter²) dan buruk (7 watt/meter² - 12 watt/meter²). Maka hanya nilai KTA dalam kategori baik dan cukup yang digunakan sebagai standar kesesuaian lahan. Multi kriteria yang digunakan di sini adalah teknik buffering dengan memberikan jarak antarlahan yang dapat dibangun oleh pembangkit listrik tenaga angin dan lahan yang tidak dapat dibangun oleh pembangkit listrik tenaga angin. Ada 6 lapisan yang digunakan dalam multi kriteria, 4 lapisan menggunakan teknik penyangga (penggunaan lahan dan tutupan lahan, suaka darat, jalan dan terminal angkutan umum), sedangkan 2 lainnya adalah reklasifikasi (lereng dan KTA). GIS digunakan untuk memetakan distribusi kesesuaian lahan dengan metode overlay dan separasi. Hasilnya, total kesesuaian lahan mulai dari 1 hektare hingga 3.413 hektare. Ada sepuluh kecamatan yang memiliki kesesuaian lahan lebih dari 1.200 hektar, yaitu Kwandang, Dulupi, Anggrek, Bongomeme, Tibawa, Pulubala, Wonosari, Sumalata, Boliyohuto dan Paguyaman (terbesar hingga terkecil).

Kata kunci: kesesuaian lahan, pembangkit listrik tenaga angin, GIS, Indonesia

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi besar dalam mengembangkan energi terbarukan, seperti energi angin 950 megawatt, energi surya 11 gigawatt, energi air 75 gigawatt, energi biomassa 32 megawatt, energi biofuel 32 megawatt, potensi energi laut 60 megawatt dan sekitar 29 gigawatt energi gas potensial (Ditjen EBTKE, 2016). Energi angin adalah sumber utama sumber daya energi yang ramah lingkungan dan telah menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang paling umum digunakan baru-baru ini dan gratis untuk semua. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia dengan kebijakan dan peraturan terkait dengan energi terbarukan adalah tanda yang sangat baik untuk pengembangan dan pemanfaatan energi angin di Indonesia. Selain itu, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia telah menetapkan tujuan untuk memproduksi energi angin 44 megawatt di 2019, tetapi sebenarnya energi angin telah dipasang yang hanya dapat menghasilkan 3,1 megawatt pada tahun 2014 (Kementrian ESDM, 2015). Itu berarti pengembangan energi angin yang masih perlu segera diperbaiki instalasi pembangkit listrik tenaga angin. Selain itu, pemasangan pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia masih jauh tertinggal dibandingkan dengan negara-negara berkembang seperti India yang telah menghasilkan energi angin dengan kapasitas 18.421 gigawatt (Martosaputra, 2014).

Pemetaan distribusi energi angin potensial telah dilakukan oleh pemerintah Indonesia. Namun, pemetaan sebaran kesesuaian lahan untuk pengembangan energi angin belum dilakukan secara optimal. Pilihan lokasi yang cocok untuk pembangkit listrik tenaga angin adalah masalah kompleks yang membutuhkan analisis yang cermat dan kombinasi dari banyak kriteria karena tidak

semua lokasi lokasi cukup sesuai untuk pemasangan pembangkit listrik tenaga angin. Beberapa penelitian terkait kesesuaian lahan untuk pembangkit listrik tenaga angin telah dilakukan di beberapa benua seperti Amerika (Miller dkk, 2014), Asia (Azadeh dkk, 2011), Eropa (Pamucar dkk, 2017), dan Afrika (Baffoe dkk, 2016). Dalam menentukan kesesuaian lahan ini beberapa metode digunakan termasuk data envelopment analysis / DEA (Azadeh *et al*, 2011), fuzzy, multi-criteria, Geographyc Information System (GIS), dan beberapa metode kombinasi seperti DEA dan fuzzy (Khanjarpanah *et al*, 2019) atau GIS dan multi-kriteria (Chamanehpour, 2017). Semua metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Oleh karena itu, menggunakan metode ini harus disesuaikan dengan hasil akhir yang diinginkan. Penelitian ini menggunakan metode kombinasi antara multi-kriteria dan GIS. mereka digunakan karena penelitian ini menunjukkan hasil akhir dari kesesuaian lahan untuk pembangkit listrik tenaga angin pada peta. Peta dapat menunjukkan secara tepat lokasi dan deskripsi awal lokasi sebelum pergi ke lapangan. Studi ini membahas kesesuaian lahan untuk pembangkit listrik tenaga angin di Provinsi Gorontalo yang belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bermakna dari penelitian lain yang pernah dilakukan.

2. METODOLOGI

Jeneponto adalah salah satu daerah di Pulau Sulawesi yang dibangun oleh pembangkit listrik tenaga bayu. Itu disebut Tolo PLTB. Tolo PLTB dapat menghasilkan 511 watt / meter² [3]. Beberapa daerah di Provinsi Gorontalo memiliki topografi yang mirip dengan Jeneponto, di mana berbukit, tandus, panas, dan angin berhembus kencang di siang hari. Atas dasar kesamaan ini,

penelitian ini menggunakan nilai standar kerapatan daya angin di Tolo PLTB untuk melihat distribusi kerapatan daya angin di Provinsi Gorontalo yang memiliki kemiripan dengan kerapatan daya angin di pembangkit listrik Tolo. Itu artinya ada beberapa daerah di Provinsi Gorontalo yang bias memasang pembangkit listrik seperti di Tolo PLTB. Persamaan rumuskerapatantenaangin (KTA) di bawah (Liu dkk, 2019 ; Shoaib dkk, 2019):

$$KTA = \frac{1}{2} \rho v^3 (\text{watt/meter}^2) \dots \dots \dots (1)$$

dimana ρ adalah berat udara ($\sim 1.225 \text{ kg / m}^3$) and v adalah kecepatan rata-rata angin (meter/second). Data kecepatan angin yang digunakan adalah data kecepatan angin rata-rata selama periode 19 tahun (2000-2018) yang diperoleh dari stasiun Pusat Prakiraan Cuaca Jangka Menengah Eropa (ECMWF) dengan kisi 0,4x0,4 pada ketinggian 10 meter.

Data kecepatan angin yang diperoleh dari ECMF kemudian diproses dalam tampilan data laut dan diekspor ke excel. Sesuai dengan praktik umum untuk kesesuaian lahan power plant tenaga bayu, analisis multi-kriteria dipilih untuk menentukan wilayah potensial dan bukan potensi kesesuaian lahan *power plant* tenaga bayu. Multi-kriteria terdiri dari beberapa lapisan, yaitu KTA, lereng, jalan, penggunaan lahan dan tutupan lahan, cagar alam dan terminal angkutan umum. Keenam lapisan diproses menggunakan pendekatan GIS, di mana pendekatan GIS yang digunakan adalah metode *buffer*, *overlay*, klip, interpolasi, dan pemisahan. Penentuan nilai multi kriteria berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti, yaitu kemiringan kurang dari 10%; penggunaan lahan, tutupan lahan, perlindungan tanah dan jalan memiliki penyangga 550 meter dan terminal angkutan umum 500 meter

(Pamucar *et al*, 2017; Chamanehpour dkk, 2017; William, 2011).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

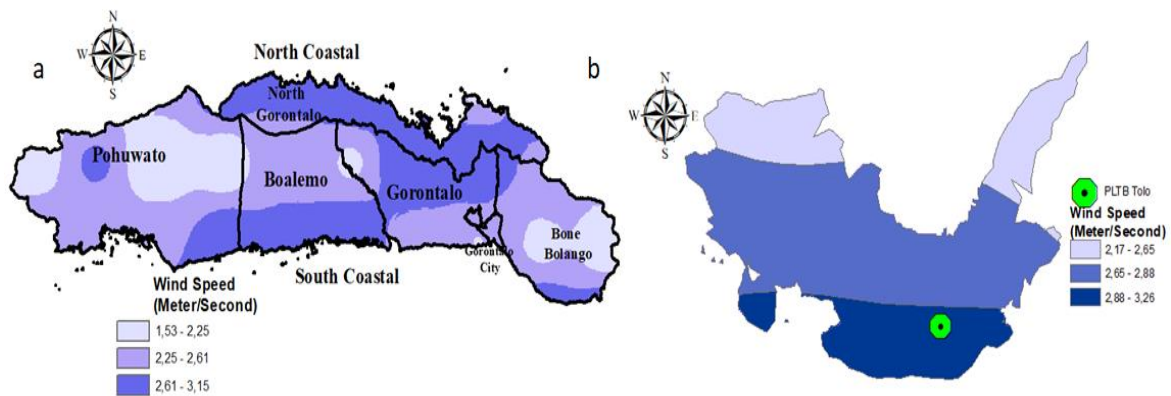
3.1 Kecepatan Angin

Dalam penelitian ini, kami menyelidiki distribusi spasial kecepatan rata-rata angin dan KTA sepanjang 19 tahun di Provinsi Gorontalo untuk mengetahui daerah potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Kedua daerah pada gambar 1 menunjukkan, kecepatan angin rata-rata yang tinggi di sepanjang wilayah pesisir dan bukannya di atas bukit. Hal yang sama terjadi di beberapa daerah pesisir di Cina Timur yang memiliki kecepatan angin rata-rata tahunan yang tinggi (Liu dkk, 2019). Selain itu, penelitian lain di Pantai Puger di Indonesia memiliki potensi tenaga angin pada ketinggian 7,3 meter antara 8,19 W hingga 37,68 W, hingga ketinggian 20,6 meter antara 52,15 W hingga 147,13 W (Hardianto dkk, 2017). Kecepatan angin rata-rata yang tinggi ($> 2,8$ meter/detik) sebagian besar didistribusikan di sebagian besar sepanjang pantai di Kabupaten Jeneponto Selatan. Semakin jauh kecepatan rata-rata angin utara semakin kecil ($< 2,8$ meter/detik), yaitu di barat laut dan di timur laut. Provinsi Gorontalo memiliki distribusi acak kecepatan angin rata-rata. Gambar 1 menunjukkan, setengah dari pantai di sepanjang Gorontalo Utara memiliki kecepatan rata-rata angin tahunan yang tinggi ($> 2,6$ meter/detik) daripada di sepanjang pantai di Gorontalo Selatan. Ada titik kecil di barat yang menunjukkan kecepatan angin tinggi rata-rata ($> 2,6$ meter/detik). Di sepanjang daerah bukit (di provinsi tengah) memiliki kecepatan rata-rata angin ($< 2,6$ meter/detik).

Kedua daerah pada Gambar 1 menunjukkan bahwa kedua wilayah ini memiliki kecepatan angin rata-rata 2,54

meter/detik di Provinsi Gorontalo dan 2,72 meter/detik di Kabupaten Jeneponto dengan ketinggian 10 meter. Studi yang sama mengukur kecepatan rata-rata angin di Pulau Sulawesi. itu menghasilkan kecepatan rata-rata angin 0,44 meter/detik menjadi 3,93 meter/detik (Alfajri *et al*, 2018). Kecepatan angin di kedua wilayah ini sangat rendah dibandingkan dengan kecepatan angin di Turki dan Spanyol, yaitu 8,2 meter/detik hingga 3,59 meter/detik pada ketinggian 10 meter (Oner *et al*, 2013; Herrero, 2017). Kecepatan rata-rata angin yang disarankan untuk pembangkit listrik tenaga angin adalah sekitar 20 meter/detik (Pamucar, 2017). Itu berarti, kedua daerah tidak diharapkan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin karena kecepatan angin mereka yang lebih rendah 6 kali dari 20 meter/detik. Itu disebabkan pengukuran kecepatan angin di ketinggian 10 meter, yang akan memiliki pengukuran kecepatan angin sekitar 0-4,4

meter/detik (Manwell dkk, 2011). Sebuah studi kecepatan angin di ketinggian 50 meter di Indonesia, yang memiliki kecepatan angin sekitar 3 meter/detik hingga lebih dari 5 meter/detik dan menghasilkan KTA sekitar 150 watt/meter² (Martosaputro, 2014). Wilayah Asia yang memiliki kecepatan angin potensial untuk pembangkit listrik tenaga angin yang ada di China (sumber daya angin terbesar di dunia), Afghanistan dan India (Bandoc *et al*, 2018). Indonesia, sendiri memiliki kecepatan angin yang rendah dibandingkan dengan potensi negara-negara di Asia (Bandoc *et al*, 2018). Wilayah lain seperti Eropa di mana adalah benua pertama yang mengelola pembangunan pembangkit listrik tenaga angin yang memiliki kecepatan angin lebih kecil daripada di kawasan Asia. Islandia, Irlandia, Inggris, Norwegia, Swedia, Finlandia dan Prancis adalah potensi kecepatan angin di kawasan Eropa (Bandoc *et al*, 2018).



Gambar 1 (a) Kecepatan Angin di Gorontalo, (b) Kecepatan Angin di Jeneponto

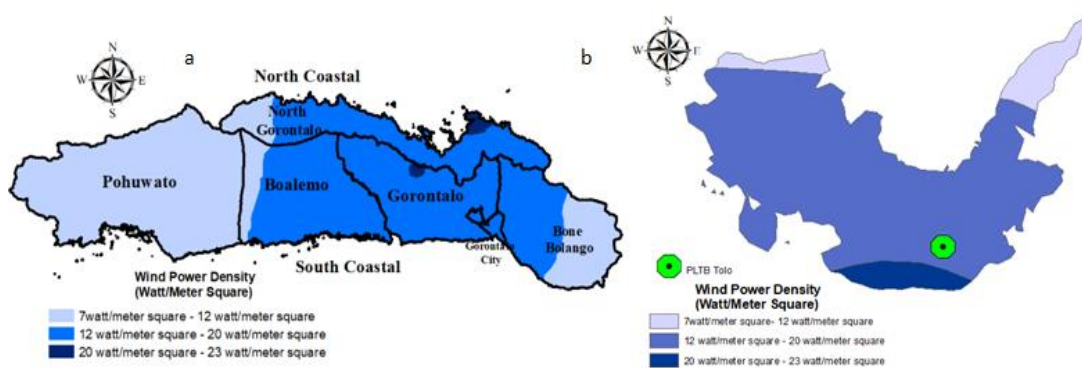
3.2 Kerapatan Tenaga Angin (KTA)

Kecepatan angin adalah salah satu energi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dalam menghasilkan energi listrik. Menghitung jumlah listrik yang dihasilkan, KTA adalah salah satu ukuran untuk konversi energi angin menjadi energi listrik. Kecepatan angin akan mempengaruhi nilai KTA. Saat 158

kecepatan angin meningkat, KTA juga meningkat (Liu *et al*, 2019; Shoib *et al*, 2019; Luankao *et al*, 2017). Ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2, di mana distribusi KTA terbesar di Jeneponto berada di sebagian besar sepanjang pantai di Selatan. Lebih jauh ke utara, KTA lebih kecil. KTA dibagi menjadi 3 kategori, baik (20 watt/meter² - 23 watt/meter²), cukup (12

watt/meter² - 20 watt/meter²) dan buruk (7 watt/meter² - 12 watt/meter²). Kabupaten Jeneponto dominan dalam kategori cukup dengan luas total 68,007 hektar (85%) dari kategori baik dengan total luas 4,439 hektar (5,5%). PLTB Tolo memiliki KTA sekitar 12 watt/meter² - 20 watt/meter² dengan tinggi 10 meter. Hal yang sama terjadi di Provinsi Gorontalo, berada dalam kategori cukup dengan luas total 917,570 hektar (51,3%) dan hanya sedikit dalam kategori baik dengan total luas 109,269 hektar (6,1%). Distribusi KTA dalam kategori cukup lebih dominan di Gorontalo timur daripada di barat. Seluruh wilayah di Kota Gorontalo dan Kabupaten Gorontalo termasuk memiliki KTA sekitar 12 watt/meter² - 20 watt/meter² di ketinggian 10

meter yang berarti daerah ini dapat berpotensi untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Nilai KTA tidak jauh berbeda pada penelitian yang dilakukan di Pulau Sulawesi, yaitu 0,10 watt/meter² hingga 64,73 watt/meter² (Alfajri, 2018). Studi lain di Amerika mengukur nilai KTA pada ketinggian 10 meter mulai dari 0-100 watt/meter dengan kecepatan angin 0 hingga 4,4 meter/s (Manwell *et al*, 2011). Nilai ini serupa dengan KTA di Jeneponto dan Gorontalo.



Gambar 2. (a)KTA in Gorontalo, (b)KTA in Jeneponto

3.3 Kesesuaian Lahan

Memasuki SIG, masing-masing kriteria disajikan dalam bentuk peta yang ditentukan secara spasial, yang mewakili atribut sel yang memiliki rentang atau nilai skala yang berbeda. Data yang digunakan dalam penelitian ini telah dikompilasi dari berbagai sumber. Studi ini mengimplementasikan informasi enam lapis yaitu KTA, kemiringan, jalan, penggunaan lahan dan tutupan lahan, cagar alam dan terminal angkutan umum, di mana upaya diambil untuk mengadopsi integrasi keputusan multi kriteria dan GIS untuk mengidentifikasi kesesuaian lahan

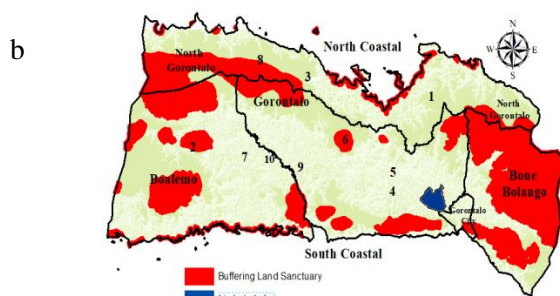
untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin yang dalam kelanjutan. Hasil dari lapisan model geospasial disajikan pada Gambar 3, yang menunjukkan enam lapisan analisis yang terpisah. KTA digunakan KTA dengan nilai yang 12 watt/meter² - 23 watt/meter². Nilai KTA ini disesuaikan dengan standar nilai KTA di PLTB Tolo, di mana memiliki nilai 12 watt/meter² - 20 watt/meter². Selanjutnya, kemiringan, jalan, penggunaan lahan dan tutupan lahan, cagar alam dan terminal angkutan umum dipotong mengikuti bentuk area KTA. Buffering

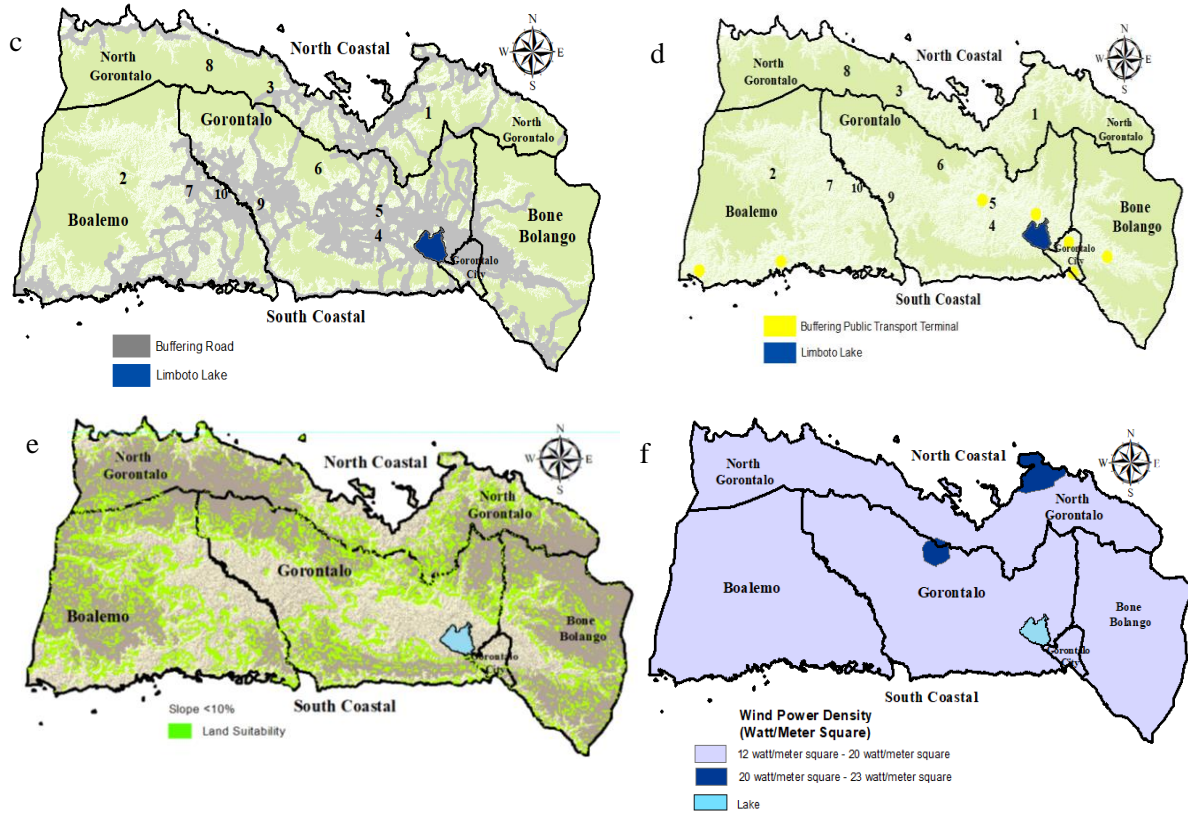
adalah salah satu metode yang digunakan untuk memilih area potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Setelah wilayah klip, kami melakukan buffering untuk penggunaan lahan, tutupan lahan, jalan, dan terminal angkutan umum. Penggunaan lahan, tutupan lahan, cagar alam, dan jalan mendapat penyangga 550 meter dari kanan dan kiri. Terminal angkutan umum mendapat buffering 500 meter buffering dari kanan dan kiri. Lereng tidak menggunakan teknik buffering, tetapi didapat metode *reclass* dimana kelas yang diambil adalah *lereng* dengan nilai kurang dari <10%. Semua lapisan lapisan digabungkan untuk menentukan skor kesesuaian lokasi yang ditampilkan untuk pembangkit listrik tenaga angin, seperti yang ditunjukkan Gambar 4.

Total kesesuaian lahan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin di Provinsi Gorontalo adalah 37.289 hektar, di mana ia menyebar ke berbagai daerah di Provinsi Gorontalo. Total luas area ini jauh lebih kecil dari luas kesesuaian lahan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin di Iran Timur, yaitu 488.700 hektar (Chamanehpour *et al*,2017). Secara umum dapat dilihat dari lima lokasi di Provinsi Gorontalo, yaitu Kabupaten Boalemo, Kabupaten Gorontalo, Kabupaten Gorontalo Utara, Kota Gorontalo dan Kabupaten Bone Bolango. Kesesuaian lahan di Kabupaten Boalemo tersebar di sepanjang pantai selatan kemudian berlanjut ke atas ke timur ke utara. Dulupi (2), Wonosari (7) dan Paguyaman (10) adalah kecamatan yang memiliki luas wilayah lebih besar dari kecamatan lainnya untuk pengembangan

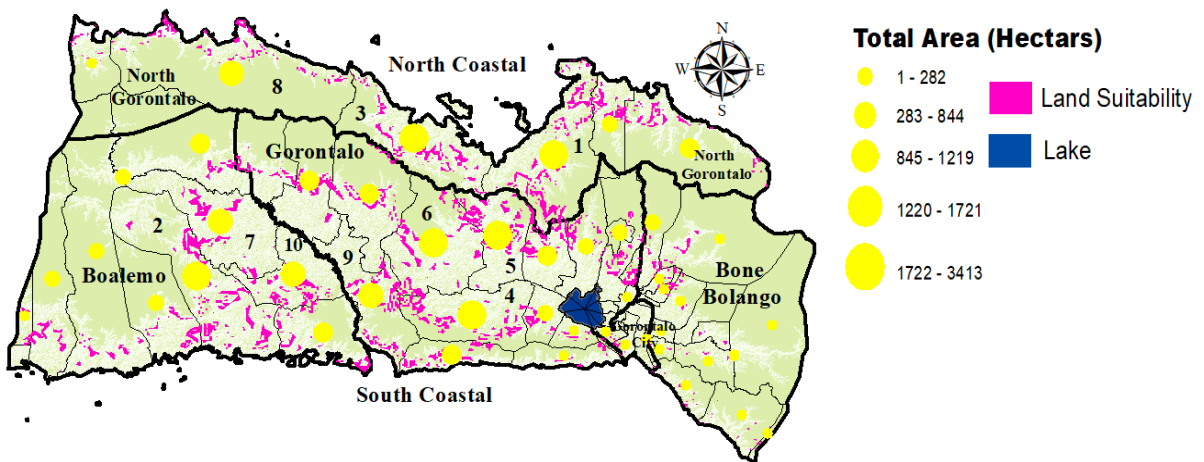
pembangkit listrik tenaga angin, yaitu 1.220 hektar - 3.413 hektar. Distribusi kesesuaian lahan berada di utara Kabupaten Boalemo kemudian menyebar ke utara Kabupaten Gorontalo. Distribusi kesesuaian lahan di Kabupaten Gorontalo hampir tersebar di seluruh kecamatannya, baik di utara, selatan, barat dan timur. Oleh karena itu, lokasi kesesuaian lahan di Kabupaten Gorontalo lebih dari empat wilayah kabupaten lainnya.

Pulubala (6), Tibawa (5), Bongomeme (4) dan Boliyohuto (9) adalah kecamatan yang memiliki luas lebih besar dari kecamatan lainnya untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin di Kabupaten Gorontalo, yaitu 1.220 hektar hingga 3.413 hektar. Selanjutnya, distribusi kesesuaian lahan di Kabupaten Gorontalo di sepanjang pantai selatan, kemudian menyebar di sepanjang pantai selatan Kota Gorontalo dan Kabupaten Bone Bolango. Distribusi kesesuaian lahan di kedua wilayah ini di sepanjang pantai selatan tidak sebesar di Kabupaten Boalemo dan Kabupaten Gorontalo. Luas lahan di kedua wilayah ini hanya sekitar 1 hektare-1.219 hektare. Hal yang sama terjadi di utara Kota Gorontalo dan Kabupaten Bone Bolango, di mana distribusi kesesuaian lahan di utara juga tidak sebanyak di Kabupaten Gorontalo. Distribusi kesesuaian lahan di Kabupaten Gorontalo Utara tersebar di sepanjang pantai utara, mulai dari arah barat ke timur. Kecamatan Anggrek (3), Sumalata (8) dan Kwandang (1) yang memiliki luas 1.220 hektar - 3. 413 hektar.





Gambar 3. Multi Kriteria Layer Dengan Buffering : (a) penggunaan lahan dan tutupan lahan, (b) cagar alam, (c) jalan, (d) terminal angkutan umum, (e) lereng, (f) KTA)



Gambar 4. Lokasi Kesesuaian Lahan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Provinsi Gorontalo

4. KESIMPULAN

Terbatasnya ketersediaan bahan bakar fosil memaksa negara untuk mencari alternatif untuk menghasilkan energi dan listrik. Energi angin adalah peluang besar dalam mengembangkan energi terbarukan seperti itu untuk menghasilkan energi dan listrik yang tidak berdampak pada lingkungan. Beberapa lokasi di Indonesia, khususnya di Kabupaten Jeneponto memiliki tenaga angin yang sangat baik untuk menghasilkan listrik. Sehingga, telah dipasang PLTB sejak 2018. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi beberapa lahan yang cocok untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Berdasarkan nilai KTA di Jeneponto, dihasilkan 3 kategori, yaitu baik ($20 \text{ watt/meter}^2 - 23 \text{ watt/meter}^2$), cukup ($12 \text{ watt / meter}^2 - 20 \text{ watt/meter}^2$) dan buruk ($7 \text{ watt / meter}^2 - 12 \text{ watt/meter}^2$). Standar nilai kategori ini kemudian diterapkan ke Provinsi Gorontalo untuk melihat daerah mana yang memiliki nilai yang sama dengan KTA pada Tolo PLTB (instalasi pembangkit listrik tenaga angin), sehingga wilayah ini diprediksi memiliki potensi pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. GIS adalah analisis yang digunakan untuk menguji kesesuaian lahan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin.

Integrasi keputusan multi kriteria dan GIS digunakan untuk mengidentifikasi kesesuaian lahan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin yang berkelanjutan. Multi kriteria yang digunakan di sini adalah teknik buffering dengan memberikan jarak antara lahan yang dapat dibangun oleh pembangkit listrik tenaga angin dan lahan yang tidak dapat dibangun oleh pembangkit listrik tenaga angin. Ada 6 lapisan yang digunakan dalam multi kriteria, 4 lapisan menggunakan teknik buffering, sedangkan 2 lainnya adalah klasifikasi ulang.

Keenam lapisan ini kemudian dilapis dan dipotong untuk mendapatkan luas lahan yang sesuai untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Kecamatan Kwandang adalah kecamatan yang memiliki wilayah kesesuaian lahan terluas untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Selain kwandang, ada 9 kecamatan lain yang dapat direkomendasikan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin dengan total luas sekitar 1.220 hektar hingga 3.413 hektar. Ada juga banyak distribusi kesesuaian lahan di sepanjang pantai selatan dan utara. Namun, perlu banyak pertimbangan jika akan membangun pembangkit listrik tenaga angin di sepanjang pantai karena Gorontalo merupakan daerah rawan gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfajri, Bau Irfan. (2018). *Pemodelan Kecepatan Angin untuk Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Per Kabupaten/ Kota di Sulawesi*. Thesis. Universitas Hasanuddin: Makassar (<http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/27288>)
- Azadeh, A., Ghaderi, S. F., & Nasrollahi, M. R. (2011). Location optimization of wind plants in Iran by an integrated hierarchical Data Envelopment Analysis. *Renewable Energy*, 36(5), 1621–1631. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.11.004>
- Baffoe, P. E., & Sarpong, D. (2016). Selecting Suitable Sites for Wind Energy Development in Ghana. *Ghana Mining Journal*, 16(1), 8. <https://doi.org/10.4314/gm.v16i1.2>
- Bandoc, G., Prävălie, R., Patriche, C., & Degeratu, M. (2018). Spatial assessment of wind power potential at global scale. A geographical approach. *Journal of Cleaner Production*, 200, 1065–1086. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.288>

- Bataineh, K. M., & Dalalah, D. (2013). Assessment of wind energy potential for selected areas in Jordan. *Renewable Energy*, 59,75–81.<https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.03.034>
- Chamanehpour, E., Ahmadizadeh & Akbarpour. (2017). Site selection of wind power plant using multi-criteria decision-making methods in GIS: A case study. *Computational Ecology and Software*, 7(2), 49–64. Retrieved from [http://www.iaees.org/publications/journals/ces/articles/2017-7\(2\)/multi-criteria-decision-making-methods-in-GIS.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/ces/articles/2017-7(2)/multi-criteria-decision-making-methods-in-GIS.pdf)
- Ditjen EBTKE. (2016). Rencana Strategis Ditjen EBTKE Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. *Journal Energi*, 02, 100. Retrieved from www.esdm.go.id
- Hardianto, T., Supeno, B., Saleh, A., Setiawan, D. K., Gunawan, & Indra, S. (2017). Potential of Wind Energy and Design Configuration of Wind Farm on Puger Beach at Jember Indonesia. *Energy Procedia*, 143, 579–584. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.730>
- Herrero-Novoa, C., Pérez, I. A., Sánchez, M. L., García, M. Á., Pardo, N., & Fernández-Duque, B. (2017). Wind speed description and power density in northern Spain. *Energy*, 138, 967–976. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.127>
- Khanjarpanah, H., & Jabbarzadeh, A. (2019). Sustainable wind plant location optimization using fuzzy cross-efficiency data envelopment analysis. *Energy*, 1004–1018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.077>
- Kementrian ESDM. (2015). Renstra KEESDM 2015-2019. *Physica C: Superconductivity and Its Applications*, 325(3–4), 127–135. [https://doi.org/10.1016/S0921-4534\(99\)00502-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4534(99)00502-X)
- Liu, F., Sun, F., Liu, W., Wang, T., Wang, H., Wang, X., & Lim, W. H. (2019). On wind speed pattern and energy potential in China. *Applied Energy*, 236(June 2018), 867–876. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.056>
- Luankaeo, S., & Tirawanichakul, Y. (2017). Assessment of Wind Energy Potential in Prince of Songkla University (South Part of Thailand): Hatyai campus. *Energy Procedia*, 138, 704–709. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.204>
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2011). *Wind Characteristics and Resources. Wind Energy Explained* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1002/9781119994367.ch2>
- Martosaputro, S., & Murti, N. (2014). Blowing the wind energy in Indonesia. *Energy Procedia*, 47, 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.225>
- Miller, A., & Li, R. (2014). A Geospatial Approach for Prioritizing Wind Farm Development in Northeast Nebraska, USA. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(3), 968–979. <https://doi.org/10.3390/ijgi3030968>
- Oner, Y., Ozcira, S., Bekiroglu, N., & Senol, I. (2013). A comparative analysis of wind power density prediction methods for Çanakkale, Intepe region, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 491–502. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.052>
- Pamucar, D., Gigovic, L., Bajic, Z., & Janošević, M. (2017). Location selection for wind farms using GIS multi-criteria hybrid model: An approach based on fuzzy and rough numbers. *Sustainability (Switzerland)*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/su9081315>
- Shoab, M., Siddiqui, I., Rehman, S., Khan, S., & Alhems, L. M. (2019). Assessment of wind energy potential using wind energy conversion system. *Journal of Cleaner Production*, 216, 346–360.

[https://doi.org/
10.1016/j.jclepro.2019.01.12](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.12)