

Penggunaan Sistem Informasi Geografi Untuk Mencari Lokasi yang Tepat Sebagai Penyimpanan Energi Hydro Terpompa

Taufiq Ejaz Ahmad, Gilang Rahayu Dwi Cahya, Della Ayu Lestari

Sistem Informasi Kelautan, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

E-mail: della.ayu@upi.edu

Diterima 15 Mei 2020, Direvisi 15 Juni 2020, Disetujui Publikasi 30 Juni 2020

Abstract

Energy is a basic human need. All facilities that support the operation of renewable energy need a strategic site that is adequate and meets all aspects required, including geographical aspects. The difference in geographical character needs is based on the different energy conversion capabilities of each energy generation unit, this requires the developer to decide a strategic location and can support the greatest energy conversion. To make it easier to figure the location based on certain geographical criteria and as decision support can optimize the use of Geographic Information Systems. A study has been carried out in South Australia to develop a set of Geographic Information System algorithms to find the right location for the construction of PHES. The aim of the reviewer is to learn how the Geographic Information System algorithm can be applied in the search mechanism automatically and how it is alternative. In order to get the implementation aspects of the method reviewed.

Keywords: Geographic Information System; Algorithm; Pumped hydro energy storage

Abstrak

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia. Seluruh fasilitas yang mendukung operasi dari energi terbarukan memerlukan lokasi strategis yang memadai dan memenuhi segala aspek yang dibutuhkannya, termasuk aspek geografis. Perbedaan kebutuhan karakter geografisnya didasari oleh kemampuan konversi energi yang berbeda beda pada setiap unit pembangkitan energi, hal ini menuntut pihak pengembang untuk menentukan lokasi yang strategis dan dapat menunjang pengkonversian energi secara maksimal. Untuk mempermudah dalam menentukan lokasi berdasarkan kriteria geografis tertentu dan sebagai penunjang keputusan, dapat mengoptimalkan penggunaan Sistem Informasi Geografi. Sebuah studi telah dilakukan di Australia Selatan untuk mengembangkan dari erangkaian algoritma Sistem Informasi Geografi untuk pencarian lokasi yang tepat untuk pembangunan PHES. Tujuan pengulas adalah untuk mempelajari bagaimana algoritma Sistem Informasi Geografi dapat diterapkan dalam mekanisme pencarian secara otomatis dan bagaimana alternatifnya. Sehingga diperoleh aspek-aspek implementatif dari metode yang diulas.

Kata kunci: Sistem Informasi Geografi; Algoritma; Penyimpanan energi hidro terpompa

A. Pendahuluan

Artikel yang dibahas pada makalah ini berjudul *Geographic information system algorithms to locate prospective sites for pumped hydro energy storage* yang ditulis oleh Bin Lu, Matthew Stocks, Andrew Blakers dan Kirsten Anderon, serta diterbitkan oleh Elsevier Applied Energy Journal pada tahun 2018. Studinya mengenai Penggunaan Sistem Informasi Geografi untuk menentukan lokasi penyimpanan energi hidro terpompa (PHES) yang memiliki prospek. Energi surya dan angin yang melimpah bisa dimanfaatkan untuk memaksimalkan sistem energi hidro terpompa atau Pumped Hydro Energy Storage (PHES), yang merupakan teknik untuk penyimpanan energi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik..

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupannya (Kholiq, 2015), sementara itu energi sendiri terbagi menjadi dua, diantaranya energi yang dapat diperbaharui dan energi yang tidak dapat diperbaharui. Energi yang tidak dapat diperbaharui semakin lama akan semakin menipis, tidak memiliki kestabilan harga serta menimbulkan emisi (Lubis, 2007).

Seluruh fasilitas yang mendukung operasi dari energi terbarukan memerlukan lokasi strategis yang memadai dan memenuhi segala aspek yang dibutuhkannya, termasuk aspek geografis. Untuk mempermudah dalam menentukan lokasi berdasarkan kriteria geografis tertentu dan sebagai penunjang keputusan, dapat mengoptimalkan penggunaan SIG. karena SIG mampu menyajikan aspek spasial (keruangan). Dalam rangka perwujudan manfaat SIG tersebut, yang kemudian dapat digunakan untuk mengetahui tingkat potensi lahan (Nugraha, 2014).

Studi dari Bin Lu, Matthew Stocks, Andrew Blakers dan Kirsten Anderon ini

bertujuan untuk mengembangkan dari serangkaian algoritma SIG untuk pencarian lokasi yang tepat untuk pembangunan PHES. Tujuan pengulas adalah untuk mempelajari bagaimana algoritma Sistem Informasi Geografi dapat diterapkan dalam mekanisme pencarian secara otomatis dan bagaimana alternatifnya. Sehingga diperoleh aspek-aspek implementatif dari metode yang diulas.

B. Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Nilai saham yang tinggi dari jaringan listrik sel surya dan pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) yang distribusinya terputus-putus membawa tantangan signifikan terhadap ekonomi dan keamanan energi seperti halnya di Australia Selatan, dimana hampir setengah dari negara bagian produksi listriknya berasal dari panel surya dan PLTB kecil (Council, 2017). Australia Selatan memiliki tingkat interkoneksi yang rendah dengan Pasar Listrik Australia (NEM) dan tidak ada pembangkit listrik tenaga air yang ada atau fasilitas pompa air didirikan di wilayah tersebut. Ini membawa tantangan signifikan pada sistem operasi dan keamanan energi negara karena pasokan yang terputus-putus dan kurang memadainya inersia energi untuk mendukung sel surya dan PLTB terutama mengingat terusnya pertumbuhan sel surya dan PLTB yang cepat. Pada Juli 2016, ketika upgrade ke interkoneksi Heywood bertepatan dengan generasi PLTB rendah di masa puncaknya, harga grosir listrik rata-rata di Australia Selatan melonjak ke \$229 / MWh (dolar Australia per megawatt-jam) dengan 3 peristiwa yang menyebabkan harga ekstrim yang terjadi pada tanggal 7, 13 dan 14 Juli dimana harga listrik melampaui \$5000 / MWh. Sebaliknya, harga rata-rata jangka panjang di Australia Selatan ketika interkoneksi tersedia untuk mengimpor listrik berbahan bakar batubara coklat dari Victoria hanya \$50 / MWh. Selain itu, berbagai peristiwa sistem seperti pelepasan beban listrik dan

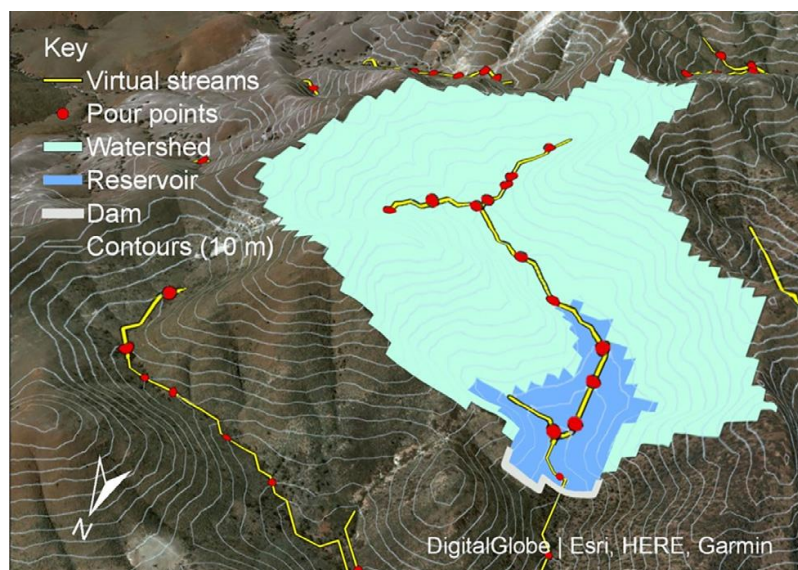
pemadaman luas pada 28 september 2016, dimana jaringan tiga fasa 275 kilovolt terkena badai besar (Operator, 2017).

PHES mampu melakukan pengalihan waktu energi skala besar dan berbagai layanan tambahan seperti pengaturan frekuensi, yang dapat memfasilitasi pembangkit sel surya dan integrasi PLTB dalam sistem listrik. Pembangunan PHES dimulai di tahun 1890 dan melonjak selama 1960, 1970 dan 1980 di Eropa, Amerika Serikat dan Jepang. PHES juga dianggap sebagai alternatif yang lebih ekonomis untuk pembangkit listrik berbahan bakar minyak dan gas alam, terutama selama periode pasca krisis energi pada 1970-an. PHES adalah teknologi penyimpanan energi skala besar yang matang (Barour *et al.*, 2016) dan (Guittet *et al.*, 2016).

Dalam PHES terdapat beberapa jenis, diantaranya PHES *on river*, yang sumber airnya diberikan dari sungai dengan air mengalir, selanjutnya PHES

yang sumber airnya diberikan dari waduk alami. Namun, konstruksi pembangkit atau fasilitas penyimpanan seperti itu biasanya dikaitkan dengan berbagai masalah lingkungan seperti efek terhadap ekologi dan sistem alam serta dampak negatif pada tanah dan geologi. Sebaliknya, penelitian ini berfokus pada penyimpanan energi sungai jangka pendek (STORES), yang mengacu pada sistem PHES loop tertutup yang terletak jauh dari sungai dan dengan demikian memiliki dampak lingkungan yang kecil.

Untuk membangun PHES dengan loop air tertutup dibutuhkan 2 bagian utama sebagai penampungan air buatan, yaitu *turkey's nest* (TN) atau bendungan reservoir penampung bagian bawah, relatif pada dataran, dan *dry gully sites* (DG) atau parit kering yang berfungsi sebagai bendungan alami pada ketinggian yang mungkin ditambahkan dengan dinding bendungan pada lokasi yang lebih tinggi dari *turkey's nest*.



Gambar 1. Delineasi daerah aliran sungai, waduk, dan bendungan dari lokasi *dry gully*
Sumber : Bin *et al.*, 2018

Metodologi yang digunakan untuk pengembangan serangkaian algoritma SIG terbagi atas beberapa tahapan, Studi ilmiah literasi dari berbagai sumber mengenai bagaimana Australia dapat membangun jaringan listrik yang terjangkau dan andal dengan energi

terbarukan, lalu mengumpulkan informasi berbasis SIG yang merekomendasikan potensi besar PHES yang tidak bergantung pada sungai yang dapat dibangun di bukit yang luas dan gunung yang dekat dengan pemukiman, lalu pengembangan algoritma SIG ini sendiri.

Untuk menentukan lokasi-lokasi yang prospektif, maka dikembangkan serangkaian algoritma SIG yang mampu untuk:

1. Menandai daerah yang besar seperti negara atau wilayah yang bisa memfasilitasi perencanaan zona energi terbarukan (sel surya, PLTB, PHEs).
2. Identifikasi cepat dari calon lokasi PHEs dengan karakter topografi yang berbeda.
3. Seleksi dari lokasi optimal berdasarkan peringkat tempat yang diidentifikasi dari pencarian situs berdasarkan kesesuaian topografi dan kelas penggunaan lahan.

Untuk dapat memiliki kemampuan identifikasi tersebut algoritma SIG ini terdiri dari gabungan serangkaian algoritma SIG canggih seperti, distribusi sejumlah besar titik ruang pada jaringan aliran virtual yang memungkinkan situs dengan resolusi tinggi (10m), dimana pencarian akan dilakukan di sepanjang aliran dimana lokasi jurang kering lebih mungkin untuk ditemukan, serta penggambaran reservoir dan bendungan dalam model daerah aliran sungai yang memungkinkan fasilitas PHEs divisualisasi dalam tiga dimensi.



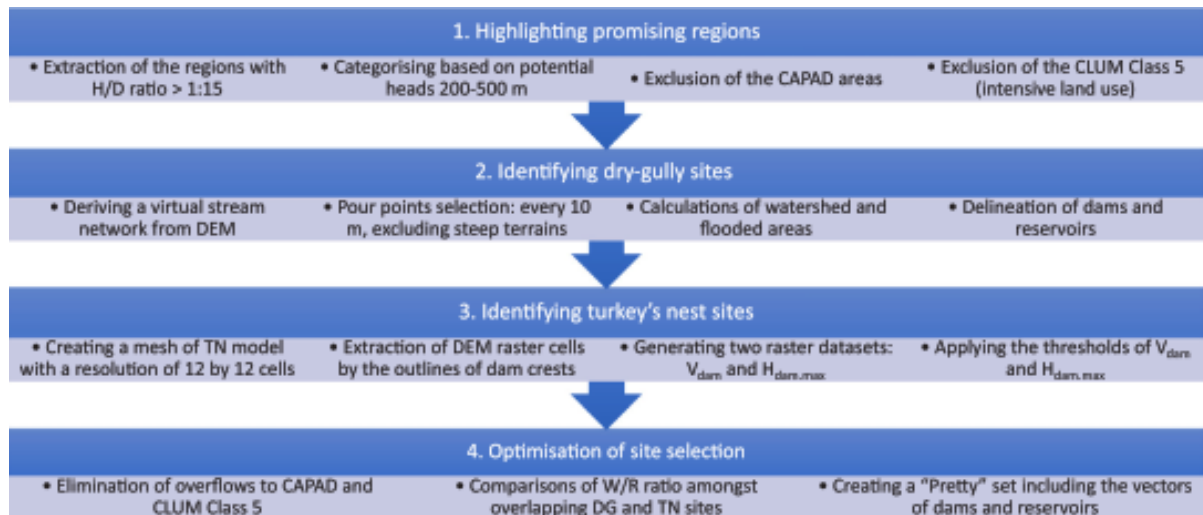
Gambar 2. Visualisasi tiga dimensi (a. tampak depan dan b. tampak belakang)
Sumber: Bin at al, 2018

Selain itu, prosedur berbasis SIG otomatis menyediakan alat pemetaan yang kuat, perangkat lunak "STORES". "STORES" dapat menyoroti wilayah yang paling menjanjikan untuk penyebaran PHEs dan secara efisien mengidentifikasi situs PHEs yang optimal dalam hal rasio tinggi air ke batuan. Berbagai informasi situs terperinci seperti luas permukaan dan volume juga dihasilkan dari pemodelan. Pengembangan perangkat lunak "STORES" memfasilitasi pencarian situs beresolusi tinggi di wilayah tanah yang luas yang biasanya tidak dapat dikomputasi secara komputerisasi. Hal ini memungkinkan perkiraan cepat potensi PHEs untuk dilakukan dalam suatu negara bagian atau negara.

Perangkat lunak bernama STORES dikembangkan dalam pemodelan yang mencakup modul fungsional berikut (Gbr. 3):

1. "highlight" untuk mengecualikan wilayah tanpa perbedaan ketinggian yang memadai dalam jarak yang dapat diterima
2. "DryGully" untuk mengidentifikasi situs DG dalam area yang disorot
3. "TurkeysNest" untuk mengidentifikasi situs TN dalam area yang disorot
4. "PrettySet" untuk optimalisasi pemilihan situs

Semua skrip ditulis dalam Python dan menggunakan pustaka seperti NumPy dan SciPy, serta paket ArcPy dari Esri ArcGIS.



Gambar 3. Prosedur pencarian berbasis SIG
Sumber: Bin et al, 2018

2.1 Kelebihan Penggunaan Algoritma SIG untuk menentukan lokasi Pumped Hydro Energy Storage (PHES)

Studi ini telah menemukan lokasi-lokasi stragegis yang memiliki:

- Ketinggian hulu >500 m
- Ketinggian hulu >400 m
- Ketinggian hulu >300 m
- Ketinggian hulu >200 m

Dalam menentukan lokasi yang tepat dalam menentukan lokasi PHES, tentunya diperlukan mekanisme komputasi yang bebannya tidak ringan, untuk mengatasi hal ini digunakanlah STORES yang dapat menerapkan kriteria pengecualian kawasan tanpa perbedaan ketinggian yang diperlukan untuk penyimpanan yang efisien, selain itu Kawasan lindung dan penggunaan lahan intensif tidak termasuk dalam prosedur ini untuk meminimalisir konflik atau persaingan dengan daerah yang peka terhadap dampak lingkungan atau sosial.

Setelah beberapa daerah tanpa perbedaan ketinggian dikecualikan, selanjutnya untuk menentukan DG, jaringan aliran virtual berasal dari *digital elevation models* (DEM) yang diberikan nilai void (diabaikan), hal ini untuk mempermudah proses kalkulasi dari algoritma selanjutnya, hal ini juga tidak

akan memengaruhi atau bahkan membatalkan proses sebelumnya karena daerah tanpa perbedaan ketinggian telah dikesampingkan. Ambang batas minimum 111 sel akumulasi ditetapkan dalam deliniasi aliran virtual untuk memungkinkan luas permukaan reservoir lebih besar dari 10 ha pada resolusi sekitar 30 m. studi ini juga menghitung kapasitas penyimpanan *dry gullies* dan pekerjaan tanah yang dibutuhkan untuk membangun bendungan melalui model DAS (Gbr. 1).

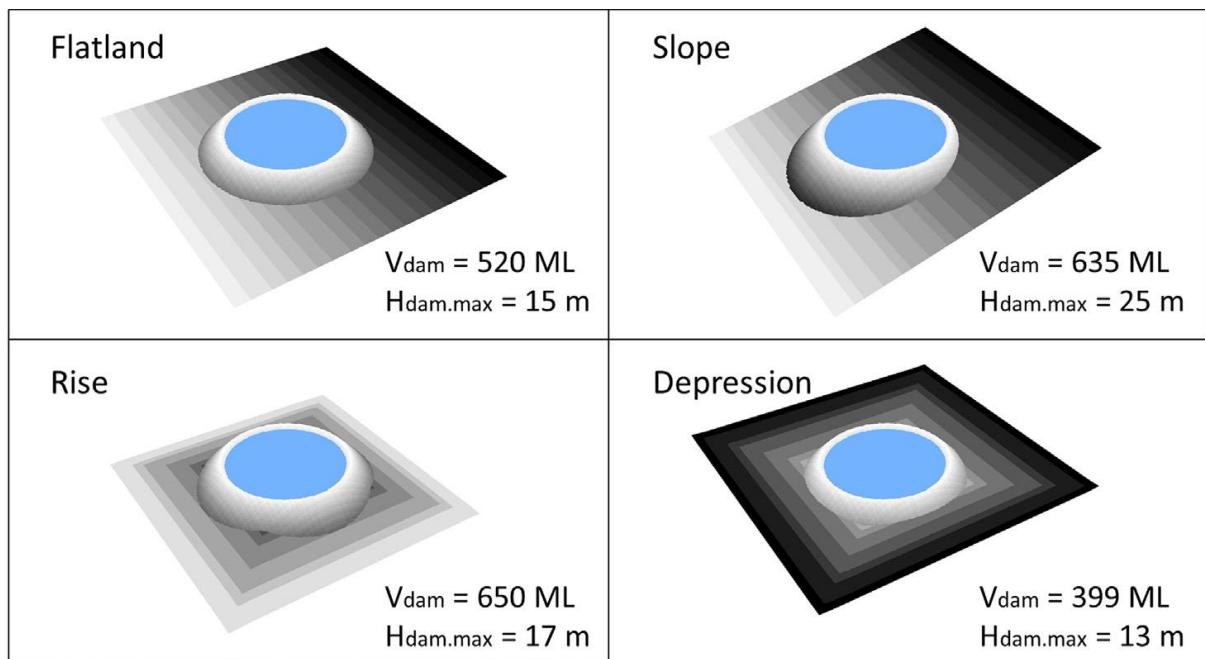
Kemudian, untuk *raster cells* pada interval 10 m pada jaringan aliran virtual, urutan titik tuang virtual dibuat dengan mengekstraksi persimpangan aliran dan kontur 10 m (Gbr. 1). DAS dihitung untuk setiap titik tuang dari lokasi dan raster arah aliran yang berasal dari DEM.

Ketinggian dinding bendungan maksimum kemudian digunakan untuk mendefinisikan area banjir (reservoir) di dalam DAS tersebut. Luas permukaan minimum 111 *raster cells* (sekitar 10 ha) diterapkan lagi pada langkah ini untuk memastikan reservoir yang dipilih untuk analisis lebih lanjut mampu memiliki kapasitas penyimpanan yang memadai. Selain itu, titik tuangan yang terletak pada kemiringan lebih besar dari 1: 5 dikesampingkan karena kemungkinan

kapasitas penyimpanan tidak memadai. Selain itu, menghindari pembangunan bendungan di medan curam yang hanya layak secara teknis dalam kondisi terbatas (Dams, 2004).

Pendekatan yang berbeda diperlukan untuk mengidentifikasi *turkey's nest*. Ini diperlukan karena perbedaan karakteristik situs TN. Situs TN biasanya menggabungkan area datar di sekitarnya yang lebih luas daripada satu DAS tunggal untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan sekaligus mengurangi ketinggian dinding bendungan. Untuk reservoir bawah, situs TN biasanya lebih difokuskan untuk memfasilitasi pembangunan pembangkit tenaga listrik bawah tanah karena lebih dekat ke reservoir atas untuk mengurangi panjang *penstock* atau terowongan.

Secara umum, tanah datar atau depresi alami lebih cocok untuk pembangunan bendungan di lokasi TN karena karakteristik daerah setempat menentukan ketinggian dinding bendungan maksimum dan pekerjaan tanah yang diperlukan untuk membangun bendungan. Di tanah datar (kemiringan = 0), tinggi bendungan 15 m dengan area penimbunan 5 ha mampu menyimpan 1 GL air sementara $H_{dam.max}$ mengurangi hingga 13 m pada "depresi" seperti medan dengan kemiringan rata-rata 15%. Sebaliknya, "lereng" atau "bukit" seperti topografi dengan kemiringan rata-rata 15% membutuhkan $H_{dam.max}$ yang lebih besar (17–25 m) dan V_{dam} yang lebih besar (635–650 megaliter, ML) untuk menyimpan 1 GL air (Gbr. 4).



Gambar 4. Penggalan untuk konstruksi bendungan (V_{dam}) dan ketinggian dinding bendungan maksimum ($H_{dam.max}$) di 4 medan untuk 1 GL air

Sumber: Bin et al., 2018

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 4, ketinggian dinding bendungan maksimum dan pekerjaan tanah yang diperlukan untuk membangun bendungan untuk menyimpan 1 GL air sangat dipengaruhi oleh topografi dan karenanya $H_{dam. Max}$ atau V_{dam} dapat menjadi panduan untuk mencerminkan kesesuaian dari medan untuk membangun bendungan

TN. (Connolly et al., 2010) menggunakan dan mengembangkan pendekatan serupa yang menghitung pekerjaan tanah maksimum yang diijinkan untuk mencerminkan kemurnian medan sedangkan dalam penelitian ini, V_{dam} dan $H_{dam.max}$ digunakan untuk menilai kesesuaian untuk konstruksi bendungan TN. Akibatnya, dua set data raster dari

Hdam.max dan Vdam dibuat dengan menggunakan model TN yang ditetapkan. Ukuran *raster cells* Hdam.max dan Vdam adalah sekitar 360 m × 360 m untuk memasukkan model TN dalam data. Setelah raster Hdam.max dan Vdam dibuat, ambang batas Hdam.max atau Vdam kemudian dapat diterapkan untuk memilih situs TN yang paling menjanjikan.

Tidak seperti proyek pembangkit listrik tenaga air berbasis sungai konvensional, penyimpanan air terletak jauh dari sungai dan memiliki sedikit dampak pada lingkungan dan habitat alami karena: (1) tidak ada interaksi dengan ekosistem sungai induk utama, (2) tidak ada konflik atau persinggungan dengan cagar alam dan penggunaan lahan secara intensif dan, (3) waduk berukuran sedang yang terletak sangat dekat dengan infrastruktur listrik dan sumber daya energi terbarukan.

Wänn *et al.* (2012) menunjukkan bahwa sistem PHES loop tertutup memiliki dampak yang lebih rendah pada tanah, transportasi geologi & sedimen dan memiliki dampak moderat pada sumber daya & kualitas air dibandingkan dengan sistem pemompaan kembali konvensional atau fasilitas PHES semi-terbuka. Laporan penilaian lingkungan yang dikeluarkan oleh Komisi Regulator Energi Federal untuk Proyek Gordon Hyde Storage Pumped Storage yang diusulkan di Montana, Amerika Serikat menyimpulkan bahwa tidak akan ada dampak lingkungan yang signifikan dalam membangun dan mengoperasikan proyek. Efek sementara, jangka pendek selama konstruksi dapat dimitigasi lebih lanjut dengan berbagai langkah pengelolaan lingkungan.

2.2 Keterbatasan serta Kekurangan Penggunaan Algoritma SIG untuk Menentukan Lokasi Pumped Hydro Energy Storage (PHES)

Setelah berbagai keunggulan di atas, algoritma SIG tidak terlepas dari beberapa keterbatasan serta kekurangan. Pertama, kurangnya algoritma SIG yang efisien untuk *dry gullies* telah membatasi penilaian potensi PHES pada skala yang luas, serta membatasi keakuratan hasil pemodelan. Kedua, Kawasan lindung dan penggunaan lahan intensif tidak termasuk ke dalam prosedur yang dilakukan oleh komputasi algoritma

Ketiga, dalam prosedur sebelumnya, tumpang tindih dari situs DG yang diidentifikasi tidak dapat dihindari karena pencarian situs berada pada interval vertikal 10 m sedangkan ketinggian dinding bendungan maksimum adalah 40 m. Karenanya, metrik peringkat diperlukan untuk menyoroti situs yang paling menjanjikan

2.3 Solusi Penggunaan Algoritma SIG untuk Menentukan Lokasi Pumped Hydro Energy Storage (PHES)

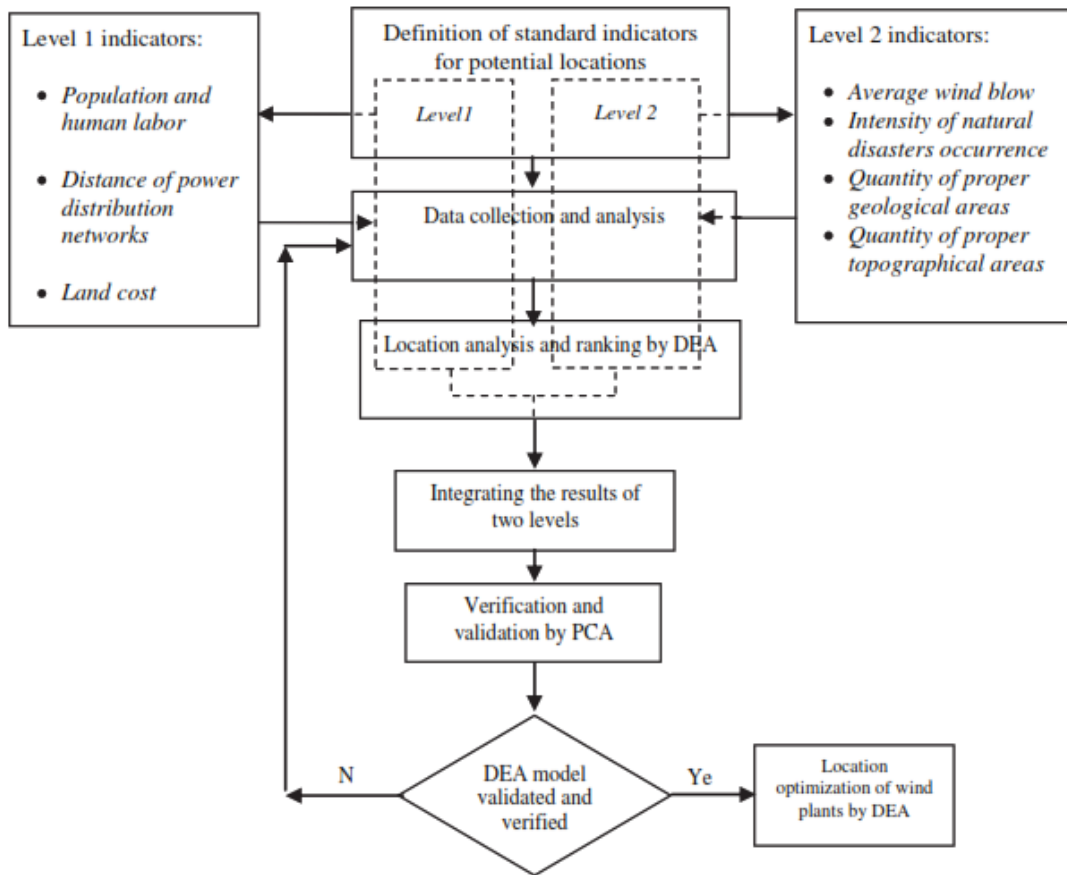
Aplikasi SIG sebagai penunjang keputusan dalam penentuan lokasi strategis melalui algoritma canggihnya semakin meningkat sejalan dengan tantangan dunia dalam pembaharuan energi, hal ini dikarenakan setiap lokasi pengembangan memerlukan kriteria geografi tertentu seperti kemiringan, akses jalan, penggunaan lahan, tutupan lahan, serta cagar alam (Muhtar, 2019). Metodologi pendekatan masalah lewat pengembangan SIG dilaksanakan karena fungsi utama SIG itu sendiri adalah untuk melakukan analisis data spasial dengan fungsi-fungsi dasar yang kompleks, seperti akuisisi data, pengelolaan data, pengukuran kemiringan dan analisis, serta penayangan grafis dan visualisasi (Aini, 2007). Sebelum menggunakan algoritma SIG, ada beberapa hal yang harus dipastikan untuk menyatakan kebenaran dari efektifitas dan efisiensi, baik itu dari sisi pemerintah ataupun masyarakat, seperti apakah algoritma ini benar-benar menyederhanakan pencarian? Bagaimana

pembacaan hasil pencarian sebagai media penyaji informasi? Apakah informasi beserta data spasial yang disajikan dapat mempermudah proses serta menjadi penunjang keputusan?

Algoritma dalam SIG difungsikan sebagai mesin pencari yang bekerja secara otomatis dalam identifikasi lokasi permukaan bumi berdasarkan kriteria-kriteria keadaan geografis tertentu, tentunya sangat memudahkan dalam proses identifikasi secara detail dibandingkan dilakukan secara manual, memang algoritma SIG yang dibahas disini memiliki beberapa kekurangan, yang terburuk adalah tumpeng tindihnya situs *dry gully* yang diidentifikasi saat pencarian dengan resolusi tinggi (10 m) yang tidak dapat dihindarkan.

Ada beberapa metodologi pendekatan untuk menyelesaikan masalah serupa dengan kapabilitas yang mirip dengan algoritma SIG ini. Pertama, yang dipublikasi oleh Azadeh et al (Azadeh, 2011). *Data envelopment analysis* (DEA) yang digunakan dalam menentukan PLTB, metodologi baru berdasarkan DEA untuk penilaian pendirian PLTB di daerah tertentu disajikan untuk optimasi lokasi PLTB berkenaan dengan karakteristik masing-masing daerah. Berdasarkan metodologi ini, konsep lokasi sebagai efisiensi suatu wilayah ditentukan untuk

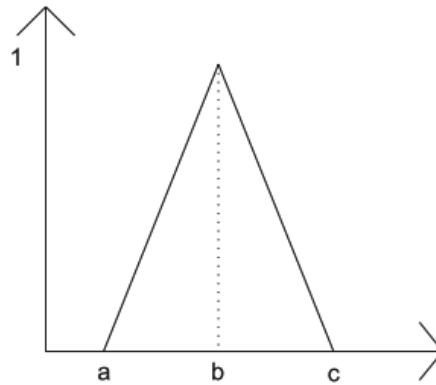
lokasi PLTB. DEA telah digunakan sebagai metode optimasi untuk menunjukkan lokasi yang paling efisien. Struktur hierarkis untuk model DEA yang diusulkan telah dipertimbangkan untuk memperluas wilayah terpilih yang dipelajari juga. Untuk tujuan ini, jumlah indikator lokal dan geografis telah ditentukan dan indikator ini dianggap sebagai input dan output dari model DEA. Indikator-indikator ini dikategorikan dalam dua level: level satu terdiri dari indikator-indikator tersebut digunakan di lokasi pembangkit listrik tenaga angin di sejumlah kota, dan level dua termasuk yang digunakan untuk mencari posisi pembangkit listrik tenaga angin di setiap kota. Dengan pendekatan ini berbagai wilayah akan dicakup untuk optimalisasi lokasi pabrik. Menggunakan pendekatan ini mengharuskan penerapan model DEA dalam dua tingkat. Di tingkat satu model DEA digunakan untuk menentukan kota yang paling cocok untuk menempatkan pabrik. Selain itu untuk masing-masing kota, model DEA terpisah dijalankan untuk menentukan prioritas daerah yang berbeda di dekat masing-masing kota. Akhirnya hasil yang diperoleh dari kedua model tingkat ini digabungkan bersama dan prioritas akhir semua lokasi di semua kota nominal ditentukan.



Gambar 5. Integrataed Data envelopment analysis dari PLTB
Sumber: Azadeh et al, 2018

Kedua, yang dipublikasi oleh Yong et al, 2006 (Yong, 2006). *Fuzzy technique for order preference by similarity to an ideal solution* (TOPSIS), yang digunakan untuk menentukan lokasi manufaktur. Teknik ini didasarkan pada konsep bahwa alternatif ideal memiliki tingkat terbaik untuk semua atribut yang dipertimbangkan, sedangkan negatif-ideal adalah yang memiliki semua nilai atribut terburuk. TOPSIS mendefinisikan solusi sebagai titik yang secara simultan terjauh dari titik negatif-ideal dan terdekat ke titik ideal, dan berhasil diterapkan untuk memilih lokasi pabrik manufaktur. Dalam proses TOPSIS, peringkat kinerja dan bobot kriteria diberikan sebagai nilai yang

jernih. Dengan demikian, pengukuran bobot dan atribut kualitatif tidak mempertimbangkan ketidak pastian yang terkait dengan pemetaan persepsi manusia pada suatu angka. Namun, data yang tajam tidak memadai untuk memodelkan situasi kehidupan nyata karena data evaluasi lokasi fasilitas di bawah atribut subjektif yang berbeda dan bobot atribut sering dinyatakan secara linguistik. Dengan demikian, pendekatan yang lebih realistis mungkin menggunakan penilaian linguistik daripada nilai-nilai numerik



Gambar 6. Grafik Fungsi dari Fuzzy TOPSIS
Sumber: Yong et al, 2006

C. Kesimpulan dan Saran

Perkembangan energi terbarukan di Indonesia sangat perlu untuk lebih ditingkatkan dan dimaksimalkan serta mulai meninggalkan energi yang tidak dapat diperbaharui, meski harga energi listrik dengan bahan batubara saat ini di Indonesia lebih murah dari sumber lain namun tetap lebih mahal dari tenaga air. Meskipun demikian tetap akan ada masanya dimana batu bara akan habis beserta beberapa sumber energi tak terbarui lainnya. Untuk mengembangkan fasilitas pembangkitan energi berbasis energi alternatif yang dapat diperbaharui maka setiap jenis fasilitas tersebut memiliki karakteristik geografisnya masing masing, perbedaan kebutuhan karakter geografisnya didasari oleh kemampuan konversi energi yang berbeda beda pada setiap unit pembangkitan energi, hal ini menuntut pihak pengembang untuk menentukan lokasi yang strategis dan dapat menunjang pengkonversian energi secara maksimal. Sistem Informasi Geografi merupakan sebuah perangkat lunak dan keras yang menawarkan kemudahan-kemudahan dalam menentukan lokasi beserta fitur-fitur geografisnya, tak hanya itu, dengan mengamati bentuk geografi maka akan terungkap informasi mengenai energi apa saja yang memengaruhi perubahan geografis dalam kurun waktu jauh kebelakang, hal ini menunjukkan bahwa SIG dapat menyajikan informasi yang cukup untuk menjadikannya sebuah sistem

penunjang keputusan baik secara bisnis dan ekologis.

Algoritma SIG berada di puncak urutan metode pendekatan masalah untuk pencarian lokasi strategis dengan segala kriteria geografi yang diperlukan, hal ini dikarenakan keunggulan algoritma SIG yang dapat mencari lokasi yang diinginkan secara akurat dan otomatis, meski tidak begitu mudah untuk digunakan dan tidak mudah untuk merancang algoritma SIG ini. Namun dengan bentuk otomatisasi pencarian lahan yang akurat, tepat dan efisien algoritma SIG ini menjadi keunggulan yang menjadikan SIG sangat dapat digunakan dalam pencarian dan penyeleksian lokasi berkriteria

Akan tetapi, dibalik semua keunggulan algoritma SIG untuk pencarian serta penyeleksian lokasi, algoritma terdapat beberapa keterbatasan dalam pengoptimalannya, algoritma pencarian berbasis SIG ini membutuhkan tenaga ahli yang dapat merancang algoritma sedemikian rupa dan mengimplementasikannya ke dalam SIG, serta mekanisme kalkulasi yang menjadi beban berat bagi perangkat keras yang menjalankan perangkat lunak SIG dengan algoritma kompleks yang canggih, yang dimana aspek-aspek sosial budaya dan politik tidak dapat dihitung oleh algoritma SIG ini, oleh karena itu dibutuhkan pemetaan singkat hingga kompleks terlebih dahulu untuk memetakan daerah daerah dengan regulasi yang tidak dapat menunjang pengembangan serta untuk

memetakan daerah-daerah geografis dengan tingkat masyarakat yang memiliki kepekaan terhadap perubahan yang ditimbulkan dari pengembangan energi terbarukan ini.

Tulisan Bin Lu, Matthew Stocks, Andrew Blakers dan Kirsten Anderon (2018) terdapat beberapa keterbatasan serta kekurangan, antara lain kurangnya algoritma SIG yang efisien. Diharuskan peningkatan untuk menekan inefisiensi yang disebabkan oleh sebuah algoritma, karena akan menimbulkan berbagai hal yang berefek tidak diinginkan pada data keluaran akhirnya, untuk itu dibutuhkan pendekatan perancangan yang lebih terperinci serta peningkatan kemampuan perangkat keras untuk menekan tingkat inefisiensi ini. Kedua, Kedua, Kawasan lindung dan penggunaan lahan intensif tidak termasuk ke dalam prosedur yang dilakukan oleh komputasi algoritma, Ketiga, dalam prosedur sebelumnya, tumpang tindih dari situs DG yang diidentifikasi tidak dapat dihindari karena pencarian situs berada pada interval vertikal 10 m sedangkan ketinggian dinding bendungan maksimum adalah 40 m, pendekatan penyeleksian berdasarkan matriks berkriteria dapat menyelesaikan masalah ini. Secara keseluruhan dan kasat mata jurnal ini tidak memiliki kekurangan untuk pembaca pemula, namun bila dicermati secara seksama akan terlihat beberapa kekurangan serta kelemahan. Sedangkan itu kelemahan dan kekurangannya layak diberikan toleransi, hal ini dikarenakan jurnal ini difungsikan sebagai media publikasi atas algoritma SIG yang sebenarnya masih dalam pemodelan pengembangan, bukan sesuatu yang benar benar sudah digunakan sebagai media penunjang keputusan secara riil. Sedangkan bagi para peneliti di bidang serupa, jurnal ini cukup menarik karena mempublikasi pembaruan metode pendekatan untuk menyelesaikan sebuah masalah dalam SIG. oleh karena itu mempelajari jurnal ini dibarengi jurnal lainnya yang membahas metode-metode

SIG atau algoritma SIG lebih dalam akan mempermudah untuk mendalami informasi yang dipaparkan jurnal ini.

Daftar Pustaka

- Aini, A. (2007). Sistem Informasi Geografis Pengertian dan Aplikasinya. *Diakses Dari <http://stmik.amikom.ac.id/>[Diakses 24 Maret 2013]*.
- 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.
- Barbour, E., Wilson, I. G., Radcliffe, J., Ding, Y., & Li, Y. (2016). A review of pumped hydro energy storage development in significant international electricity markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 421-432.
- Connolly, D., MacLaughlin, S., & Leahy, M. (2010). Development of a computer program to locate potential sites for pumped hydroelectric energy storage. *Energy*, 35(1), 375-381.
- Council, A. C. (2017). *Clean Energy Australia Report 2016*.
- Dams, R. F. (2004). General Design and Construction Considerations for Earth and.
- Guittet, M., Capezzali, M., Gaudard, L., Romero, F., Vuille, F., & Avellan, F. (2016). Study of the drivers and asset management of pumped-storage power plants historical and geographical perspective. *Energy*, 111, 560-579.
- Kholiq, I. (2015). Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal Iptek*, 19(2), 75-91.
- Lubis, A. (2007). Energi terbarukan dalam pembangunan

- berkelanjutan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 8(2).
- Muhtar, G. A. (2019). Lokasi Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan Metode SIG di Provinsi Gorontalo. *Jurnal Azimut*, 2(2), 155-164.
- Nugraha, Y. K., Nugraha, A. L., & Wijaya, A. P. (2014). Pemanfaatan Sig Untuk Menentukan Lokasi Potensial Pengembangan Kawasan Perumahan Dan Permukiman (Studi Kasus Kabupaten Boyolali). *Jurnal Geodesi Undip*, 3(4), 50-59.
- Operator, A. E. (2017). *System event report*. South Australia.
- Wänn, A., Leahy, P., Reidy, M., Doyle, S., Dalton, H., & Barry, P. (2012). Facilitating energy storage to allow high penetration of intermittent renewable energy: Environmental performance of existing energy storage installations. *Deliverable D, 3*.
- Yong, D. (2006). Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7-8), 839-8