

OPTIMASI LOKASI INSTALASI DIGESTER BIOGAS SKALA KOMUNITAS DESA PUDAK WETAN PONOROGO

Putra Endi Catyanadika

Program Studi Manajemen, Fakultas Bisnis dan Ekonomika, Universitas Islam Indonesia
Jl. Prawiro Kuat Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia
¹⁾e-mail: putraendi@uii.ac.id

(Diterima 17 Februari 2020 / Disetujui 23 Maret 2020)

ABSTRACT

Community-scale biogas digester would become an alternative that reduces the cost of constructing biogas facilities. However, it is important to identify ideal locations of digesters to optimize distribution process of biogas input materials to digester facilities. This research aims to determine optimal locations of digester using geospatial kernel density analysis by calculating the biogas raw material using the total mass of the solid waste, which is applied on cowshed locations of Sumber Rejeki Dairy Cooperation in Puduk Wetan, Ponorogo. The results of the analysis have found nine ideal locations which community scale biogas digester facilities can be built by considering the density of the total mass of the solid waste and the proximity of the cowsheds on the research location.

Keywords: *alternative energy, biogas, kernel density, location decision, supply chain management*

ABSTRAK

Digester biogas skala komunitas menjadi salah satu alternatif yang dapat dipakai untuk membantu menekan biaya pembangunan fasilitas biogas. Namun, penentuan lokasi digester menjadi penting untuk diidentifikasi agar distribusi bahan baku biogas ke fasilitas digester menjadi optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan letak optimal digester menggunakan analisis geospasial *kernel density* dengan penghitungan bahan baku biogas menggunakan massa total larutan padat yang diaplikasikan pada lokasi kandang sapi peternak Koperasi Susu Sumber Rejeki di Desa Puduk Wetan Ponorogo. Hasil dari analisis pada penelitian ini menemukan sembilan titik lokasi ideal yang dapat dibangun fasilitas digester biogas skala komunitas dengan mempertimbangkan kepadatan massa total larutan padat dan kedekatan jarak antar kandang pada lokasi penelitian.

Kata kunci: *analisis lokasi, biogas, energi alternatif, kernel density, manajemen rantai pasokan*

PENDAHULUAN

Dengan semakin menipisnya bahan baku fosil sebagai sumber energi, telah banyak dikembangkan aplikasi energi terbarukan yang dapat menjadi alternatif untuk menggantikan energi fosil yang semakin menipis. Salah satu energi alternatif yang mulai banyak digunakan adalah biogas (Fowler, Krajačić, Lončar, & Duić, 2009; Krajačić, Duić, & Carvalho, 2011; Schneider, Duić, & Bogdan, 2007). Biogas berasal dari fermentasi anaerob limbah organik, baik berupa limbah binatang maupun tumbuhan, yang menghasilkan gas metana sebagai sumber energi alternatif. Pemanfaatan biogas telah banyak dilakukan di berbagai negara, umumnya dipakai sebagai sumber energi untuk memasak maupun

bahan bakar generator pembangkit listrik. Hal ini dikarenakan manfaat biogas yang dapat diaplikasikan pada berbagai kebutuhan energi baik termal maupun elektrik. Biogas juga lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah dan sekaligus tidak menghasilkan limbah dari proses produksinya (Al-Ghazawi & Abdulla, 2008).

Biogas membutuhkan digester sebagai reaktor penghasil gas metana. Digester biogas adalah ruang kedap udara dimana bahan baku biogas berupa limbah organik dan air mengalami proses fermentasi untuk menghasilkan gas (Widarto & Sudarto, 1997). Campuran air dan limbah inilah yang menjadi bahan baku dari biogas atau disebut dengan massa total larutan padat (Hozairi, Bakir, & Bukari, 2012). Proses fermentasi kemudian akan menghasilkan gas

metana yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif. Umumnya, gas hasil fermentasi ini dialirkan ke rumah-rumah warga menggunakan pipa besi sebagai pengganti gas elpiji. Ada juga metode penyimpanan gas menggunakan balon plastik yang mudah dibawa guna memudahkan proses distribusi.

Berdasarkan aturan dari Direktorat Budi daya Ternak Ruminansia (2008), terdapat tiga jenis skala digester biogas berdasarkan ukuran dan kebutuhan. Digester pertama berukuran paling kecil adalah digester skala individu dengan kapasitas penggunaan untuk satu sampai dua orang. Ukuran kedua adalah digester berukuran sedang atau komunitas untuk satu kelompok peternak yang tinggal berdekatan dengan kapasitas untuk dua sampai lima belas orang. Ukuran ketiga adalah digester ukuran besar, umumnya dibuat untuk kapasitas satu dusun atau desa. Digester skala individu umumnya lebih mudah dibuat dan dirawat, karena ukurannya lebih kecil. Namun digester skala individu memerlukan biaya pembuatan yang cukup mahal karena jumlah digester yang harus dibuat lebih banyak. Sedangkan digester biogas skala komunitas maupun desa umumnya lebih murah karena biayanya dapat ditanggung bersama oleh kelompok ternak, namun lebih sulit dalam hal perawatan dan distribusi massa total larutan padat dari kandang ke digester.

Instalasi digester biogas memerlukan investasi yang cukup besar, sehingga dibutuhkan perencanaan yang mendalam sebelum membuat fasilitas biogas. Salah satu hal yang harus diperhatikan sebelum membangun digester adalah letak lokasi dari digester (Höhn, Lehtonen, Rasi, & Rintala, 2014). Lokasi digester harus dapat memudahkan distribusi limbah organik sebagai bahan baku biogas. Oleh karena itu, sebaiknya lokasi digester diletakkan berdekatan dengan kandang-kandang ternak maupun tempat penampungan limbah hasil pertanian. Terlebih dalam membuat digester skala sedang dan besar yang digunakan oleh beberapa pemasok limbah. Berbeda dengan digester yang digunakan secara individu, dimana pemiliknya dapat menentukan lokasi digester yang dekat dengan lokasi limbah, digester skala sedang dan skala besar harus dapat dijangkau oleh semua pemasok. sehingga diperlu-

kan analisis lebih lanjut mengenai letak lokasi yang mempunyai sumber bahan baku potensial untuk pembuatan digester biogas komunitas.

Pentingnya faktor lokasi pada instalasi digester biogas membuat fokus analisis penentuan lokasi digester perlu untuk diteliti lebih lanjut. Penelitian-penelitian terdahulu telah mengusulkan beberapa metode pemilihan lokasi digester biogas menggunakan berbagai macam alat analisis, antara lain menggunakan analisis geospasial dan manajemen rantai pasokan. Beberapa penelitian mengenai pemilihan lokasi untuk aplikasi energi alternatif antara lain telah dilakukan oleh Höhn *et al.* (2014) yang menggunakan analisis *kernel density* untuk mencari lokasi potensial fasilitas biogas dengan pertimbangan kepadatan bahan baku, penggunaan *cost assessment* dengan parameter biaya transportasi, jarak transportasi, dan ukuran fasilitas yang dibangun (Puksec & Duic, 2012), penggunaan analisis *Best Worst Method (BWM)* untuk menentukan lokasi produksi *bioethanol* (Kheybari, Kazemi, & Rezaei, 2019), serta penggunaan aplikasi *Geographical Information System (GIS)* untuk memetakan pola potensi biogas di benua Eropa (Scarlat, Fahl, Dallemand, Monforti, & Motola, 2018). Namun penelitian mengenai potensi biogas di wilayah Indonesia, khususnya dalam aspek penentuan lokasi, masih belum banyak diselenggarakan. Hal ini menjadi penting mengingat potensi yang dimiliki Indonesia untuk memproduksi biogas sebagai sumber energi alternatif cukup besar.

Salah satu contoh kasus belum optimalnya pemanfaatan biogas di Indonesia adalah aplikasi biogas milik Koperasi Susu Sumber Rejeki Desa Pudak Wetan yang berada dalam wilayah Kabupaten Ponorogo. Berdasarkan observasi di lokasi penelitian pada bulan Agustus 2019, instalasi digester di Desa Pudak Wetan masih menemui banyak masalah. Antara lain letak instalasi digester yang terlalu condong pada beberapa kandang saja, sehingga sulit untuk melakukan distribusi bahan baku dari kandang yang terletak jauh dari digester. Hasil observasi mencatat terdapat sembilan digester dengan masukan bahan baku rata-rata sebesar 1.050 kg perhari. Sedangkan total produksi limbah organik dapat mencapai 3.250 kg perhari atau hanya

dimanfaatkan sebesar 32,11% dari total potensi bahan baku dan sisanya menjadi limbah. Penelitian terdahulu oleh Faza *et al.* (2013), yang meneliti potensi biogas di Desa Pudak Wetan menggunakan analisis *Multi Criteria (MCA)* dengan mempertimbangkan empat faktor: kondisi ekonomi, kelembaban udara, ketersediaan lahan, dan keamanan lokasi, juga menyimpulkan bahwa skema instalasi digester yang cocok diterapkan di Desa Pudak Wetan seharusnya dibangun dalam skala sedang atau komunitas. Sedangkan berdasarkan observasi yang dilakukan di lokasi, instalasi digester biogas di Desa Pudak Wetan masih belum optimal karena masih dibangun dalam skala kecil. Pembangunan digester skala kecil juga relatif lebih mahal sehingga tidak semua kandang memiliki digester. Akibatnya, tidak semua limbah ternak dapat masuk ke digester dan mengakibatkan limbah organik yang cukup besar.

Melihat keadaan pemanfaatan biogas yang belum optimal di Desa Pudak Wetan dan rekomendasi dari penelitian terdahulu oleh Faza *et al.* (2013), maka pembangunan digester skala sedang atau komunitas dapat menjadi solusi untuk optimisasi penggunaan biogas. Digester biogas skala sedang relatif lebih murah karena hanya membutuhkan satu fasilitas untuk beberapa kelompok peternak yang berdekatan, alih-alih membangun satu digester untuk satu kandang. Namun karena digester skala sedang digunakan secara berkelompok, maka lokasi digester harus dapat dijangkau oleh kandang-kandang yang mendistribusikan limbah ternak ke digester. Oleh karena itu, lokasi mana saja yang berpotensi sebagai letak digester biogas skala komunitas perlu untuk diidentifikasi lebih lanjut.

Salah satu metode analisis pemilihan lokasi digester biogas skala komunitas telah diusulkan oleh Hohn *et al.* (2014) dan Scarlet *et al.* (2018), yaitu menggunakan analisis *kernel density* yang terdapat dalam perangkat lunak ArcGIS. Analisis *kernel density* cocok diterapkan karena memberi gambaran visual daerah potensial yang mempunyai kepadatan bahan baku lebih besar dari daerah lain, sehingga memudahkan pengambil keputusan untuk menentukan letak potensial instalasi digester. Meskipun analisis ini cocok untuk diterapkan, ada beberapa modifikasi metode analisis yang diusulkan dalam kasus Desa

Pudak Wetan karena terdapat beberapa ketidaksesuaian pada penelitian-penelitian terdahulu untuk diterapkan di lokasi penelitian.

Sebagai contoh, penelitian Hohn *et al.* (2014) mengambil indikator bahan baku yang dipasok menggunakan kalkulasi kotoran ternak, limbah rumah tangga, dan juga limbah pertanian. Cara ini masih kurang cocok untuk diterapkan di Indonesia karena aplikasi teknologi biogas di Indonesia masih berfokus pada kotoran hewan seperti sapi atau kuda (Felix, Paramitha, & Ikhsan, 2012). Sedangkan pemanfaatan limbah rumah tangga menjadi biogas masih dalam taraf perkembangan sehingga kalkulasi yang dilakukan Hohn *et al.* (2012) masih belum efektif diterapkan di Indonesia. Selain itu, memperhitungkan kuantitas kotoran padat saja kurang tepat, karena bahan baku biogas di Indonesia perlu ditambah air dalam takaran tertentu untuk memicu proses fermentasi (Hozairi *et al.*, 2012; Widarto & Sudarto, 1997). Dalam penelitian lainnya, metode penghitungan yang diusulkan Scarlet *et al.* (2018) lebih berfokus pada kotoran ternak, dengan menghitung jumlah bahan baku menggunakan kalkulasi penghitungan massa total dari kotoran padat dan kotoran cair. Cara ini memang lebih cocok untuk diterapkan pada penghitungan bahan baku untuk digester di Indonesia. Namun formula untuk menghitung massa total perlu disesuaikan terlebih dahulu karena kondisi kualitas kotoran, iklim, dan proses fermentasi di Indonesia berbeda dengan Eropa. Sehingga massa total yang dihasilkan besar kemungkinan berbeda pula. Oleh karena itu, penelitian ini memilih untuk menggunakan kalkulasi massa total yang diusulkan oleh Hozairi *et al.* (2012), yang telah disesuaikan dengan kualitas bahan baku kotoran ternak di Indonesia.

Penelitian ini dilakukan guna memberi alternatif solusi penentuan lokasi biogas di Desa Pudak Wetan sekaligus berkontribusi pada pengusulan alternatif penentuan lokasi digester menggunakan analisis spasial yang dapat diaplikasikan di Indonesia. Hasil riset ini diharapkan dapat membantu arah perkembangan instalasi biogas di Desa Pudak Wetan, sekaligus dapat menjadi alternatif solusi perencanaan instalasi biogas yang sesuai dengan kondisi di Indonesia.

BIOGAS

Biogas merupakan suatu produk hasil metabolisme yang terdiri dari gas metana, karbon dioksida, dan gas-gas lain yang dapat digunakan sebagai sumber energi pengganti bahan bakar lain dan bersifat bersih, efisien, dan dapat diperbarui (Rajendran, Aslanzaeh, & Taherzadeh, 2012). Komponen dari biogas terdiri dari 54% -70% gas metana (CH_4) yang mempunyai nilai kalor yang tinggi, yaitu sekitar 4.800 sampai 6.700 kkal/ m^3 . Nilai kalor ini dapat menghasilkan energi setara dengan elpiji 0,46 kilogram atau 0,62 liter minyak tanah pada setiap $1m^3$ biogas (Sunaryo, 2014).

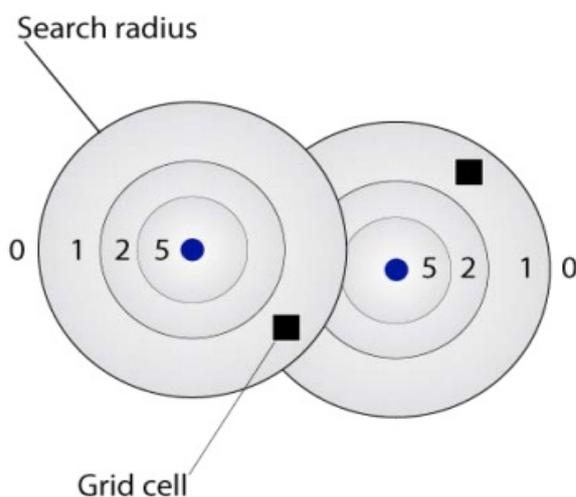
Biogas perlu dipisahkan dari limbah ternak dengan menyimpan limbah ternak pada ruang kedap udara yang disebut digester. Di dalam digester, proses fermentasi untuk memisahkan gas dengan kotoran padat dapat dilakukan dengan mencampur bahan baku tersebut dengan air dan bakteri tertentu (Direktorat Budidaya Ternak Ruminansia, 2008; Sunaryo, 2014; Widarto & Sudarto, 1997). Campuran dari limbah ternak dan air inilah yang disebut dengan massa total larutan padat (Hozairi *et al.*, 2012). Massa total larutan padat dihitung dengan mempertimbangkan adanya massa limbah ternak yang tereduksi dalam proses fermentasi, yaitu kotoran ternak cair. Pemisahan antara kotoran padat dengan kotoran cair perlu untuk dihitung karena komponen bahan baku yang dipasok ke dalam digester hanya kotoran padat saja. Selain itu, penghitungan massa total larutan padat juga mempertimbangkan massa air dan bakteri lain yang harus dicampur dengan kotoran padat untuk memicu proses fermentasi.

Pemanfaatan biogas telah diaplikasikan pada berbagai keperluan, seperti menggantikan peran gas elpiji dan kayu bakar untuk memasak maupun sebagai sumber bahan bakar untuk memproduksi listrik. Di beberapa negara, pemanfaatan biogas dapat dipakai sebagai sumber bahan bakar untuk menggerakkan traktor mesin pemotong tanaman sebagai penunjang aktivitas pertanian.

ANALISIS KERNEL DENSITY

Analisis *kernel density* adalah fungsi matematika yang diubah menjadi fungsi spasial untuk mengubah titik suatu sampel menjadi

permukaan lengkung yang mengindikasikan kepadatan nilai pada sampel tersebut (Kloog, Haim, & Portnov, 2009). Handayani & Rudiyanto, (2011) menjabarkan cara kerja analisis *kernel density* sebagai bentuk persebaran kepadatan dalam radius tertentu. Semakin dekat dengan titik sampel, maka nilai kepadatan akan semakin tinggi. Begitu pula sebaliknya, jika semakin jauh dari titik sampel, maka nilai kepadatan akan semakin rendah. Seluruh nilai akan diakumulasi pada suatu sel yang ditumpangsusunkan pada peta pola persebaran. Hasil dari akumulasi nilai kepadatan tersebut kemudian divisualisasikan menggunakan warna yang berbeda, sehingga akan terlihat peta kepadatan nilai dari suatu daerah.



Gambar 1. Hubungan Titik, Radius, dan Sel dalam Analisis *Kernel density*

Sumber: CEHI (2018)

Ilustrasi *kernel density* pada gambar 1 merepresentasikan bagaimana analisis *kernel density* bekerja dengan mempertimbangkan tiga masukan utama, yaitu lokasi obyek yang direpresentasikan dengan titik berwarna biru, persebaran nilai dari masing-masing titik, dan radius persebaran nilai. Masing-masing titik biru mempunyai nilai sampel yang sama, yaitu 8. Setiap nilai disebar seluas radius yang ditentukan, dengan aturan semakin jauh dari lokasi titik sampel, nilai yang disebar semakin mengecil dan pada batas radius, nilai akan menjadi nol. Pada gambar 1 terlihat bahwa pola persebaran dari masing-masing titik sampel yang semakin mengecil saat mendekati batas radius dengan pola

5, 2, 1, dan 0. Nilai-nilai persebaran tersebut akan dihitung jumlahnya pada masing-masing *grid cell* dan direpresentasikan dengan warna yang berbeda. Sebagai contoh, pada gambar 1 sel sebelah kiri mempunyai nilai total 2 karena dilewati oleh nilai 1 dari sebaran titik sampel kiri dan nilai 1 sebaran titik sampel kanan. Sedangkan pada sel sebelah kanan mempunyai nilai total 1 karena hanya dilewati oleh nilai 1 sebaran titik sampel kanan. Jumlah nilai total dari masing-masing sel menandakan kepadatan daerah yang diwakili oleh sel tersebut.

Luaran dari analisis *kernel density* adalah gambar peta yang merepresentasikan pola kepadatan nilai sampel pada suatu daerah. Pola kepadatan pada suatu daerah dibedakan dengan variasi warna yang berbeda, tergantung dari nilai kepadatan yang telah diakumulasi oleh masing-masing *grid cell*.

METODE

LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan di Desa Pudak Wetan yang terletak di Kecamatan Pudak, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur. Lokasi ini dipilih dengan pertimbangan hasil observasi awal oleh peneliti yang menemukan bahwa instalasi teknologi biogas yang telah diaplikasikan di Desa Pudak Wetan belum optimal. Selain itu terdapat rekomendasi dari penelitian terdahulu oleh Faza *et al.* (2013) yang menganjurkan instalasi pembangunan digester biogas skala sedang di Desa Pudak Wetan, sehingga lokasi instalasi di Desa Pudak Wetan dengan skema pembuatan digester berbasis komunitas perlu untuk diidentifikasi lebih lanjut lagi. Waktu penelitian dilakukan selama empat bulan mencakup periode observasi awal, pengambilan data primer dan sekunder, pelaksanaan analisis, hingga penulisan laporan penelitian.

PENENTUAN RESPONDEN

Responden dalam penelitian ini ditentukan menggunakan metode sensus, dimana semua anggota peternak Desa Pudak Wetan yang tergabung dalam Koperasi Susu Sumber Rejeki sebanyak tiga puluh delapan peternak menjadi responden. Responden dipilih dengan dasar pola

persebaran kandang-kandang peternak anggota kelompok Koperasi Susu Sumber Rejeki saling berdekatan satu sama lain, sehingga dari segi lokasi diindikasikan memiliki potensi untuk pembangunan digester biogas skala sedang. Selain itu, peneliti juga mempertimbangkan perencanaan pembangunan digester skala sedang yang membutuhkan koordinasi antar anggota karena akan dipakai secara berkelompok. Dengan berfokus pada peternak yang menjadi anggota koperasi, diharapkan koordinasi instalasi biogas secara komunitas akan menjadi lebih mudah.

DATA DAN INSTRUMEN PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data primer berupa koordinat kartesian titik masing-masing kandang dan jumlah kuantitas maksimal kotoran sapi yang dipasok dari semua kandang yang menjadi obyek penelitian. Penentuan koordinat kartesian dilakukan dengan observasi langsung pada lokasi penelitian menggunakan perangkat GPS Garmin Etrex dengan toleransi radius sebesar lima meter menggunakan format koordinat *Universal Transverse Mercator (UTM)*. Sedangkan penentuan kuantitas maksimal kotoran sapi dari masing-masing kandang diidentifikasi dengan menghitung kapasitas maksimal jumlah sapi yang dapat ditampung dari masing-masing kandang kemudian dikali dengan lima belas kilogram, sesuai dengan penentuan kalkulasi kotoran padat yang diusulkan oleh Hozairi *et al.* (2012). Kapasitas maksimum kapasitas kandang digunakan sebagai dasar penghitungan dengan dasar pertimbangan adanya kemungkinan jumlah sapi di Desa Pudak Wetan dapat berubah, sehingga besar digester sebaiknya mengikuti jumlah maksimal sapi yang dapat ditampung agar semua kotoran ternak dapat masuk ke digester.

METODE ANALISIS DATA

Massa Total Larutan Padat

Kuantitas kotoran ternak tidak bisa dijadikan patokan sebagai kuantitas bahan baku yang didistribusikan ke digester. Hal ini perlu diperhatikan karena masukan bahan baku biogas tidak hanya terdiri dari kotoran ternak saja, namun perlu dicampur dengan air guna memicu proses fermentasi. Oleh karena itu, penghitungan kuantitas bahan baku digester perlu mempertim-

bangkan bahan-bahan lain guna mendapat penghitungan yang optimal. Penelitian ini menggunakan formula penghitungan bahan baku biogas yang diusulkan oleh Hozairi *et al.* (2012) dengan memperhitungkan kuantitas kotoran ternak padat dan cair dan juga air dalam takaran tertentu. Formula ini dapat merepresentasikan jumlah bahan baku digester yang disebut sebagai massa total larutan padat (mt). penghitungan massa total larutan padat seperti yang diusulkan oleh Hozairi *et al.* (2012) adalah sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah kotoran sapi per hari yang tersedia menggunakan jumlah maksimum sapi yang bisa ditampung kandang tersebut (*n*). Formula yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah kotoran sapi} = n \times 15 \text{ kg/hari}$$

2. Menentukan komposisi kotoran padat sapi. Rasio kotoran padat dengan kotoran cair adalah 20:80:

$$\text{Kotoran padat} = 0,2 \times \text{Jumlah kotoran sapi}$$

3. Melarutkan kotoran padat dengan air sebelum masuk ke *digester*. Perbandingan komposisi kotoran padat dengan air adalah 1:4. Maka jumlah air yang ditambahkan:

$$\text{Air yang ditambahkan} = 4 \times \text{Kotoran padat}$$

4. Menjumlahkan air yang ditambahkan dengan kotoran padat untuk mencari kuantitas barang yang akan disalurkan:

$$\text{Massa total larutan kotoran padat (mt)} = \text{Kotoran padat} + \text{Air}$$

Analisis Kernel Density

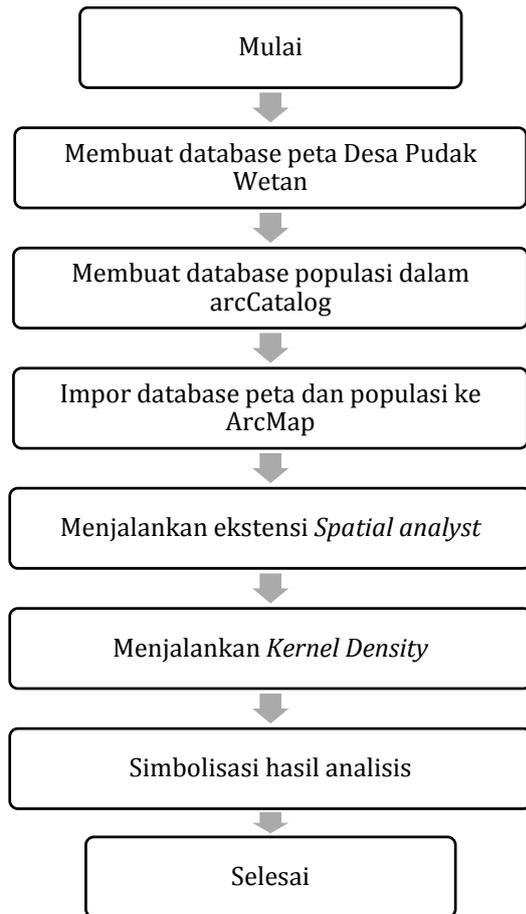
Analisis *kernel density* dapat dijalankan menggunakan analisis spasial ArcGIS guna mempermudah proses penghitungan nilai persebaran. Dengan memasukkan data berupa koordinat titik sampel, nilai dari masing-masing sampel, dan juga radius persebaran, aplikasi ArcGIS akan menjalankan analisis dan menghasilkan luaran berupa peta yang menunjukkan kepadatan nilai suatu daerah. Analisis *kernel density* dalam aplikasi ArcGIS memerlukan masukan beberapa data yang dijelaskan pada tabel 1.

Data-data masukan tersebut perlu disimpan ke dalam *database* ArcCatalog sebagai pusat penyimpanan data yang akan digunakan dalam aplikasi ArcGIS. Data masukan lainnya yang perlu disiapkan adalah peta dasar Desa Pudak Wetan yang akan digunakan untuk analisis spasial dan juga visualisasi luaran analisis. Peta Desa Pudak Wetan yang digunakan dalam penelitian ini diunduh dari Google Earth dengan sedikit modifikasi batas wilayah administrasi. Jika semua data masukan sudah terpenuhi, maka analisis *kernel density* dapat dijalankan. Langkah menjalankan analisis *kernel density* dalam aplikasi ArcGIS dijabarkan dalam gambar 2.

Tabel 1. Data Masukan Analisis Kernel Density

| Parameter | Penjelasan | Tipe Data |
|--|---|----------------------|
| in_features | Jenis fitur masukan (titik atau garis) yang akan dicari tingkat kepadatannya. | <i>Feature Layer</i> |
| population_field | Bidang yang menunjukkan nilai populasi dari setiap fitur masukan. Bidang populasi membentuk area yang menyebar dari lanskap untuk membentuk permukaan secara terus-menerus. | <i>Field</i> |
| search_radius (optional) | Radius pencarian untuk menghitung kepadatan. Sebagai contoh, jika ingin menghitung kepadatan unit dalam radius 25 meter, maka <i>search</i> radius diisi dengan 25. | <i>Double</i> |
| area_unit_scale_factor (optional) | Area unit yang diinginkan dari keluaran nilai kepadatan. | <i>String</i> |

Sumber: ESRI (2014)



Gambar 2. Tahap Operasional Analisis Kernel Density

HASIL DAN PEMBAHASAN

MASSA TOTAL LARUTAN PADAT

Massa total larutan padat yang digunakan sebagai masukan dari analisis *kernel density* dihitung berdasarkan jumlah kapasitas maksimum kandang sapi yang dimiliki peternak koperasi susu Sumber Rejeki Desa Pudak Wetan. Hasil penghitungan ini menunjukkan jumlah kuantitas bahan baku biogas yang dapat dipasok dari semua kandang ternak perharinya. Massa total larutan padat juga menjadi nilai sampel yang akan diketahui tingkat kepadatannya pada analisis *kernel density*. Dengan menggunakan formula yang diusulkan oleh Hozairi *et al.* (2012), penghitungan massa total larutan padat di Desa Pudak Wetan dalam skala kilogram per hari disajikan pada tabel 2.

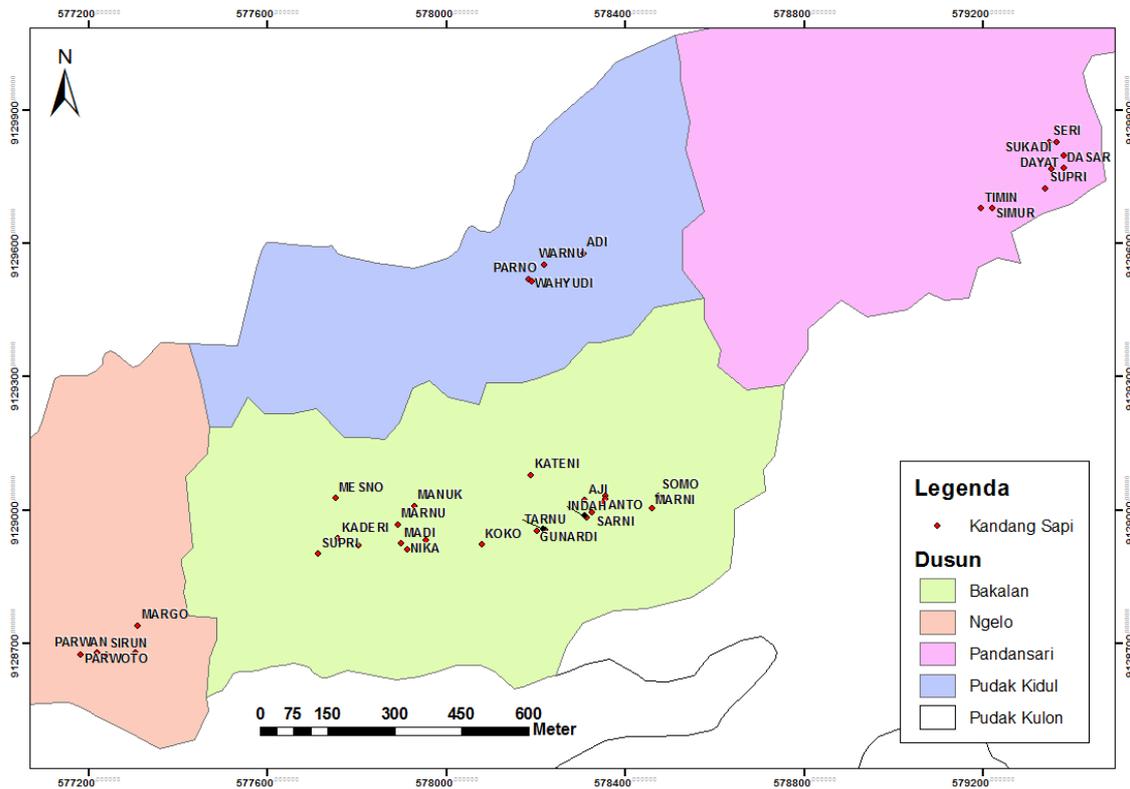
Tabel 2. Hasil Penghitungan Massa Total Larutan Padat

| No | Nama Pemilik | Kap. Kandang | Kotoran Sapi | Kotoran Padat | Air | Massa Total |
|----|--------------|--------------|--------------|---------------|-----|-------------|
| 1 | Parno | 8 | 120 | 24 | 96 | 120 |
| 2 | Warnu | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 3 | Adi | 10 | 150 | 30 | 120 | 150 |
| 4 | Wahyudi | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 5 | Dayat | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 6 | Seri | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 7 | Sukadi | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 8 | Juremi | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 9 | Dasar | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 10 | Simur | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 11 | Supri | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 12 | Timin | 8 | 120 | 24 | 96 | 120 |
| 13 | Muhayat | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 14 | Parwoto | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 15 | Margo | 2 | 30 | 6 | 24 | 30 |
| 16 | Sirun | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 17 | Parwan | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 18 | Gunardi | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 19 | Tarnu | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 20 | Kateni | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 21 | Sarni | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 22 | Aji | 10 | 150 | 30 | 120 | 150 |
| 23 | Suroto | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 24 | Suwarni | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 25 | Anto | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 26 | Marni | 10 | 150 | 30 | 120 | 150 |
| 27 | Somo | 2 | 30 | 6 | 24 | 30 |
| 28 | Indah | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 29 | Supri | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 30 | Kaderi | 4 | 60 | 12 | 48 | 60 |
| 31 | Nika | 2 | 30 | 6 | 24 | 30 |
| 32 | Mesno | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 33 | Narto | 8 | 120 | 24 | 96 | 120 |
| 34 | Madi | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 35 | Marnu | 12 | 180 | 36 | 144 | 180 |
| 36 | Koko | 8 | 120 | 24 | 96 | 120 |
| 37 | Suroso | 6 | 90 | 18 | 72 | 90 |
| 38 | Manuk | 10 | 150 | 30 | 120 | 150 |

ANALISIS KERNEL DENSITY

Hasil dari penghitungan massa total larutan padat yang telah dianalisis kemudian menjadi masukan nilai titik sampel untuk analisis *kernel density*. Untuk menjalankan analisis spasial *kernel density*, lokasi dari masing-masing kandang perlu diproyeksikan pada peta dasar Desa Pudak Wetan dengan memasukkan data koordinat kartesian dari masing-masing kandang ke dalam aplikasi ArcGIS. Hasil dari proyeksi letak masing-masing kandang pada peta diilustrasikan pada gambar 3.

Titik-titik merah pada gambar 3 menunjukkan lokasi masing-masing kandang pada peta, sekaligus menjadi titik sampel untuk analisis *kernel density*. Pada masing-masing titik sampel, nilai massa total larutan padat akan dimasukkan dan disebar sepanjang radius yang telah ditentukan. Guna menjalankan langkah tersebut, maka data

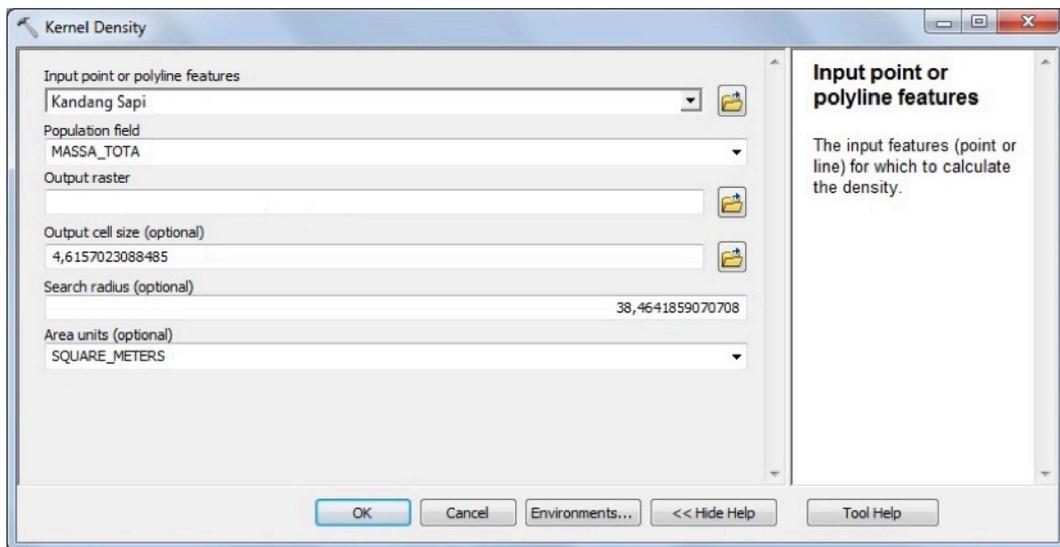


Gambar 3. Proyeksi Letak Kandang Ternak Desa Puduk Wetan

masuk analisis *kernel density* yang telah disimpan dalam ArcCatalog perlu dihubungkan dengan titik sampel dengan perintah pemrograman pada gambar 4.

Masukan data nilai sampel pada setiap titik sampel dijalankan dengan memilih kriteria *Input*

point or polyline features yang menandakan titik sampel apa yang akan dianalisis dan *Population field* yang menandakan nilai sampel dari *database* ArcCatalog yang akan dimasukkan ke titik sampel. Masukan lain yang perlu diperhatikan adalah kriteria *search radius* yang menandakan jarak nilai



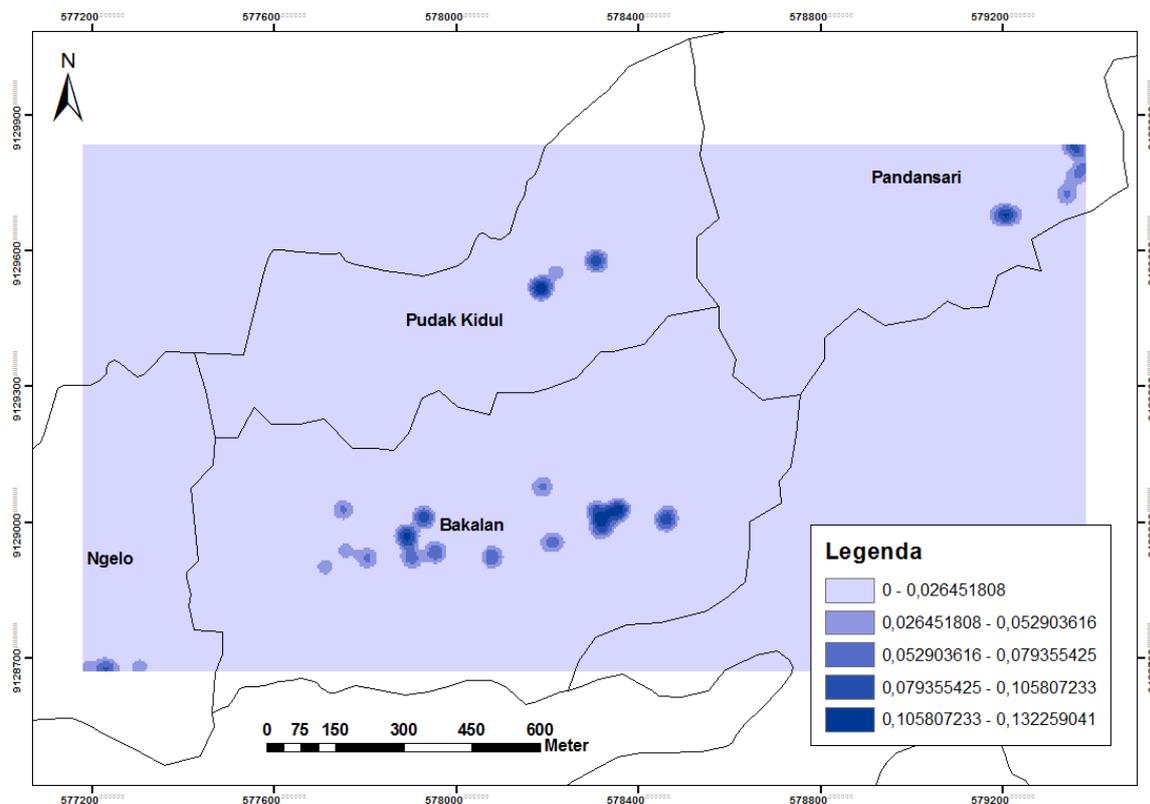
Gambar 4. Jendela Masukan Analisis *Kernel Density*

sampel akan disebar dari setiap titik sampel. Pada analisis ini, radius ditentukan sebesar 38,46 meter dari titik sampel, mengikuti besar luasan area yang akan dianalisis. Radius sebesar 38,46 meter ini juga mengindikasikan bahwa jarak distribusi yang bahan baku biogas dari kandang ke digester biogas untuk analisis ini maksimal sejauh 38,46 meter. Setelah input titik sampel, nilai sampel, dan radius persebaran telah ditentukan, maka analisis *kernel density* dapat dijalankan. Hasil dari analisis *kernel density* disajikan pada gambar 5.

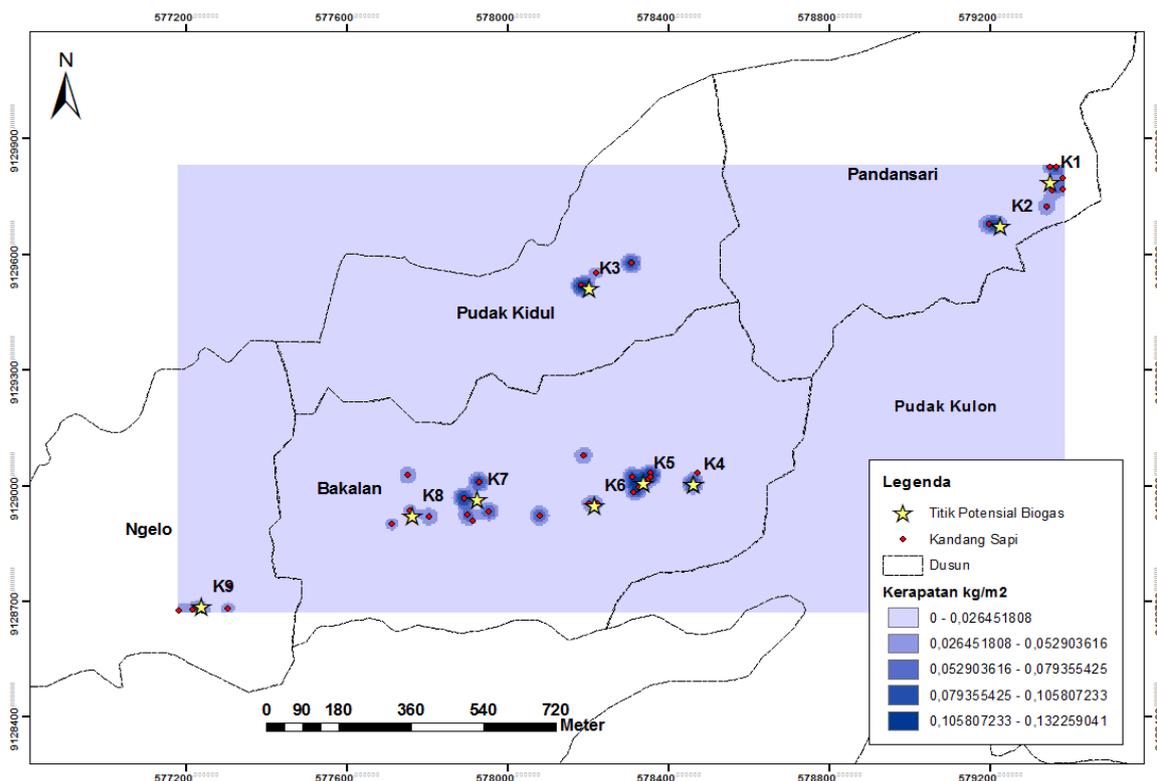
Hasil dari analisis *kernel density* telah menunjukkan beberapa titik lokasi di Desa Pudak Wetan yang mempunyai tingkat kepadatan massa total larutan padat lebih banyak dibandingkan dengan daerah lainnya. Hal ini diilustrasikan di dalam proyeksi peta pada gambar 5 dengan tingkat warna yang lebih gelap dibandingkan dengan daerah lainnya. Daerah dengan tingkat kepadatan massa total yang lebih banyak mengindikasikan bahwa pada daerah tersebut terdapat jumlah massa total larutan padat yang terkonsentrasi karena letak kandang saling ber-

dekatan dengan batas radius antar kandang sejauh 38,46 meter. Oleh karena itu, pembangunan digester biogas skala komunitas cocok untuk dilakukan di lokasi tersebut.

Dalam gambar 6, area yang berpotensi untuk instalasi digester biogas skala komunitas ditandai dengan simbol bintang berwarna kuning. Terdapat sembilan area yang dapat menjadi lokasi potensial dimana letak kandang antar peternak saling berdekatan yang diindikasikan dengan kepadatan massa total yang besar. Temuan lain yang dapat diidentifikasi pada analisis ini adalah terdapat enam kandang yang mempunyai letak terlalu jauh dengan kandang lainnya, karena jarak kandang tersebut lebih dari 38,46 meter dari kandang milik peternak yang lain. Kandang ternak yang terlalu jauh akan menyulitkan proses distribusi jika harus memasok ke digester skala komunitas. Agar dapat memaksimalkan potensi massa total yang ada, keenam kandang tersebut dapat menginstalasi digester biogas skala individu dengan letak dan kapasitas digester yang dapat



Gambar 5. Pola Kepadatan Massa Total Larutan Padat Desa Pudak Wetan



Gambar 6. Area Potensi Instalasi Digester Skala Komunitas

disesuaikan dengan besaran massa total larutan padat dari masing-masing kandang.

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini, terdapat kesamaan temuan antara penelitian ini dengan penelitian oleh Faza *et al.* (2013) yang sama-sama menemukan adanya potensi pembangunan digester biogas skala komunitas di Desa Pudak Wetan. Pertanyaan selanjutnya adalah bagaimana sebaiknya pembangunan digester dilakukan. Penelitian ini menggunakan pendekatan lokasi, mengingat pentingnya lokasi sebagai salah satu aspek yang harus diperhatikan untuk membangun digester biogas skala komunitas (Direktorat Budidaya Ternak Ruminansia, 2008; Höhn *et al.*, 2014). Penggunaan alat analisis *kernel density* untuk mencari letak potensial digester biogas dapat digunakan untuk membantu mengambil keputusan terkait pemilihan lokasi. Analisis *kernel density* menunjukkan kepadatan suatu nilai sampel pada sebuah lokasi. Nilai sampel yang padat dapat menunjukkan adanya konsentrasi massa total yang besar karena letak kandang saling berdekatan. Letak kandang yang

saling berdekatan menjadi peluang untuk membuat digester biogas skala komunitas guna memaksimalkan potensi biogas yang ada. Analisis *kernel density* juga dilakukan pada penelitian terdahulu untuk mencari atau mengetahui potensi potensial biogas suatu daerah. Sebagai contoh penelitian dari Höhn *et al.* (2014) yang juga menggunakan analisis serupa untuk meneliti potensi biogas di Finlandia. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa indikator kepadatan massa total sebagai penentuan lokasi dapat diterapkan. Metode serupa juga diterapkan oleh Scarlet *et al.* (2018) untuk menganalisis potensi kotoran ternak di Eropa secara spasial, namun terdapat perbedaan cara menghitung massa total larutan padat yang menjadi nilai bahan baku biogas dengan pertimbangan adanya perbedaan kualitas massa total antara Indonesia dengan Eropa. Maka dari itu, formulasi massa total yang diusulkan hozairi *et al.* (2012) dipilih untuk menyesuaikan kalkulasi dengan kualitas kotoran ternak di Indonesia.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

Hasil dari analisis ini menunjukkan secara visual bagaimana potensi pembangunan digester biogas di Desa Pudak Wetan dapat dimaksimalkan lebih baik lagi. Terdapat sembilan titik lokasi yang mempunyai kepadatan massa total larutan padat yang memiliki tingkat kepadatan massa total lebih besar daripada daerah lainnya dengan letak kandang-kandang yang saling berdekatan. Sembilan titik inilah yang berpotensi untuk dibangun digester biogas skala komunitas. Namun hasil analisis juga menunjukkan bahwa kesembilan titik ini belum dapat menampung semua potensi biogas yang dimiliki karena ada enam kandang yang mempunyai letak terlalu jauh dari kandang yang lain, sehingga tidak memungkinkan untuk disertakan pada skema digester komunitas. Guna memaksimalkan potensi yang ada, sebaiknya keenam kandang yang terletak jauh dari kandang yang lain tersebut dibangun digester biogas skala kecil atau individu, dengan letak dan kapasitas menyesuaikan masing-masing kandang.

SARAN

Analisis yang diusulkan dalam penelitian ini dapat membantu untuk menentukan lokasi digester biogas skala komunitas, namun lokasi yang dipilih pada penelitian ini masih terlalu kecil dengan bentuk kepadatan yang mudah terlihat. Hal ini membuat visualisasi hasil analisis kurang signifikan untuk mempresentasikan fungsi dari analisis *kernel density*. Selain itu, analisis penentuan lokasi perlu diperdalam lagi sebelum pembuatan digester dilakukan, karena analisis ini hanya mempertimbangkan tiga variabel sebagai pertimbangan, yaitu koordinat letak kandang yang memasok bahan baku biogas, jumlah massa total larutan padat sebagai nilai sampel, dan juga batas jarak antar kandang sebagai radius. Pada praktiknya, pembuatan sebuah fasilitas perlu mempertimbangkan aspek lainnya seperti iklim, kontur tanah, kondisi ekonomi dan politik setempat, dan juga kesiapan sumberdaya manusia.

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih jauh pada riset-riset berikutnya dengan menggunakan metode yang sama pada lokasi dengan persebaran massa total yang lebih rumit maupun skala area yang lebih besar, sehingga gambar peta

yang dihasilkan dapat memvisualisasikan kepadatan dengan lebih representatif, sehingga manfaat dari analisis ini dapat dirasakan pada kasus-kasus pemilihan lokasi digester yang lebih kompleks. Selain itu lokasi yang diperoleh pada penelitian ini perlu diteliti lebih lanjut menggunakan variabel-variabel lainnya, baik variabel geospasial seperti kontur tanah dan ketersediaan ruang, maupun variabel non-geospasial seperti aspek iklim dan kondisi sosial masyarakat sebelum instalasi dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ghazawi, Z. D., & Abdulla, F. (2008). Mitigation of methane emissions from sanitary landfills and sewage treatment plants in Jordan. *Clean Technologies and Environmental Policy*. <https://doi.org/10.1007/s10098-008-0145-8>
- CEHI. (2018). GIS Module 3. Retrieved from Spatial Analysis Tools website: <http://www.cdc.gov/dhdsdp/maps/gisx/training/module>
- Direktorat Budidaya Ternak Ruminansia. (2008). *Pedoman Umum Pengembangan Biogas Asal Ternak Bersama Masyarakat (BATAMAS)*. Jakarta: Departemen Pertanian.
- Faza, W. R., Meidiana, C., Rini, I., Ari, D., Spasial, A. K., & Sapi, K. (2013). Distribusi Potensi Biogas Desa Pudak Wetan, Kabupaten. *Jurnal Tata Kota Dan Daerah*, 5, 109–118.
- Felix, A., Paramitha, & Ikhsan, D. (2012). Pembuatan Biogas Dari Sampah Sayuran. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 1(1), 103–108.
- Fowler, P., Krajačić, G., Lončar, D., & Duić, N. (2009). Modeling the energy potential of biomass - H₂ RES. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(16), 7027–7040. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.12.055>
- Handayani, W., & Rudiyanto, I. (2011). Dinamika Pola Persebaran Kepadatan Penduduk Jawa Tengah 2000 - 2030 Melalui Perhitungan *Kernel density*. *Seminar Nasional Geospasial Dalam Pembangunan Wilayah Dan Kota*.

- Höhn, J., Lehtonen, E., Rasi, S., & Rintala, J. (2014). A Geographical Information System (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland. *Applied Energy*, 113(2014), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.005>
- Hozairi, Bakir, & Bukari. (2012). Pemanfaatan Kotoran Hewan Menjadi Energi Biogas Untuk Mendukung Pertumbuhan UMKM di Kabupaten Pamekasan. *Prosiding Insisnas*, 93–98.
- Kheybari, S., Kazemi, M., & Rezaei, J. (2019). Bioethanol facility location selection using best-worst method. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.054>
- Kloog, I., Haim, A., & Portnov, B. A. (2009). Using *kernel density* function as an urban analysis tool: Investigating the association between nightlight exposure and the incidence of breast cancer in Haifa, Israel. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(1), 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.09.006>
- Krajačić, G., Duić, N., & Carvalho, M. da G. (2011). How to achieve a 100% RES electricity supply for Portugal? *Applied Energy*, 88(2), 508–517. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.006>
- Puksec, T., & Duic, N. (2012). Economic Viability and Geographic Distribution of Centralized Biogas Plants: Case Study Croatia. *Clean Technology Environmental Policy*, 14, 427–433.
- Rajendran, K., Aslanzaeh, S., & Taherzadeh, M. J. (2012). Household Biogas Digesters – A Review. *Energies*, 5, 2911–2942.
- Scarlat, N., Fahl, F., Dallemand, J. F., Monforti, F., & Motola, V. (2018). A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.035>
- Schneider, D. R., Duić, N., & Bogdan, Ž. (2007). Mapping the potential for decentralized energy generation based on renewable energy sources in the Republic of Croatia. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.12.003>
- Sunaryo. (2014). Rancang Bangun Reaktor Biogas untuk Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak Sapi di Desa Limbangan Kabupaten Banjarnegara. *Jurnal PKKUM UNSIQ*, 1, 21–30.
- Widarto, L., & Sudarto. (1997). *Membuat Biogas*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.