

Pemilihan Lokasi Instalasi Pengolahan Air Limbah untuk Kawasan Industri Tahu-Tempe Menggunakan Fuzzy TOPSIS

Yusuf Priyandari^{*1)}, Hansen Kusuma²⁾, I Wayan Suletra³⁾, dan Wakhid A Jauhari⁴⁾

^{1,2,3,4)} Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36^a, Surakarta, 57126, Indonesia
priyandari@ft.uns.ac.id, suletra@staff.uns.ac.id,

DOI: 10.20961/performa.18.2.32384

Abstrak

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) diperlukan oleh industri tahu-tempe agar bisa mengurangi dampak lingkungan. Bagi industri-industri kecil dan menengah (IKM) tahu-tempe, instalasi tersebut lebih baik dibangun secara komunal untuk mengoptimalkan biaya pembuatan dan kapasitas. Permasalahan yang kemudian timbul adalah berapa jumlah kebutuhan IPAL dan di lokasi mana saja instalasi tersebut dibangun. Permasalahan inilah yang dihadapi oleh Pemerintah Kota Surakarta ketika merencanakan pembangunan beberapa IPAL di kawasan industri tahu-tempe Mojosoongo, Kota Surakarta. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan memilih alternatif lokasi IPAL komunal dengan mempertimbangkan sejumlah kriteria objektif dan subjektif. Kriteria-kriteria tersebut dikelompokkan menjadi kriteria teknis, administratif dan kriteria sosial. Metode fuzzy TOPSIS digunakan dalam memilih alternatif lokasi yang optimal. Hasil penelitian memberikan rekomendasi bagi pemerintah Kota Surakarta untuk membangun empat titik lokasi IPAL komunal yang dapat digunakan untuk empat puluh satu IKM tahu-tempe di kawasan Mojosoongo, Kota Surakarta.

Kata kunci: Instalasi pengolahan air limbah, Fuzzy TOPSIS, Pemilihan lokasi, Industri kecil dan menengah

Abstract

Wastewater treatment plant is needed by a tofu-tempeh industry in order to reduce environmental impact. For the small to medium enterprises (SMEs) of tofu-tempeh, the plant is better built communally for cost and capacity optimization. An emergence problem is how to define quantity and location for the plant. The problem was also faced by The Government of Surakarta City while they plan to build some wastewater treatment plants in Mojosoongo, an area of SMEs of tofu-tempeh. This research determined some alternative locations of the wastewater treatment plant considering objective and subjective criterias. The criterias are grouped in technical, administrative and social. Fuzzy TOPSIS method is utilized to determine the optimal locations. The research recommends the Government of Surakarta City to build four points of wastewater treatment plant for forty one SMEs of tofu-tempeh in Mojosoongo.

Keywords: Wastewater treatment plant, Fuzzy TOPSIS, Location selection, Small and medium enterprise

1. Pendahuluan

Peraturan Daerah Kota Surakarta nomor 1 tahun 2012 menetapkan bahwa Kelurahan Mojosoongo sebagai Subpusat Pelayanan Kota (SPK) Kawasan IV yang menjadi pusat industri kecil dan industri ringan. Salah satu bidang industri yang dikembangkan di Kelurahan Mojosoongo adalah industri tahu dan tempe sebagaimana telah diatur dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Surakarta tahun 2012. Sebagai sebuah kawasan industri, wilayah tersebut diharuskan memiliki sarana dan prasarana pendukung berupa Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) atau *wastewater treatment plant* (Menteri Perindustrian, 1989). IPAL digunakan untuk mengolah limbah cair menjadi air yang tidak mencemari lingkungan atau sesuai dengan baku mutu yang sudah ditetapkan. Keberadaan IPAL di kawasan industri tahu-tempe diharapkan mengurangi bau yang kurang sedap dan gangguan kesehatan yang bersumber dari limbah cair industri tahu-tempe yang masih mengandung bahan organik (Kaswinarni, 2007; Said, Indriatmoko, Raharjo, & Herlambang, 2017).

Berkaitan dengan IPAL untuk industri kecil dan menengah (IKM) tahu-tempe, selain mengolah air limbah, IPAL juga dapat menghasilkan energi terbarukan berupa biogas. Jenis IPAL seperti ini menggunakan teknologi *biodigester*, yakni memanfaatkan proses biologis (mikroorganisme anaerobik) untuk mengubah bahan organik dalam suatu wadah digester menjadi biogas (Badan Standardisasi Nasional, 2012; Sadzali, 2010). Salah satu kawasan industri tahu-tempe yang telah memanfaatkan teknologi IPAL biodegester adalah kawasan industri tahu-tempe di Banyumas (Wicaksono, 2017). Di Kota Surakarta, telah ada sebuah industri tahu-tempe

* Penulis korespondensi

yang menggunakan IPAL penghasil biogas, namun IPAL tersebut tidak digunakan bersama untuk beberapa industri (komunal) sebagaimana industri tahu-tempe di Banyumas.

Oleh karena empat puluh satu industri tahu-tempe yang ada di kawasan Mojosongo adalah industri kecil, maka diperlukan IPAL bersama atau komunal. IPAL komunal lebih relevan dibangun bagi IKM tahu-tempe karena limbah cair yang dihasilkan setiap IKM tidak banyak sehingga lebih optimal jika limbah cair diproses bersama dalam satu atau beberapa IPAL untuk mengoptimalkan produksi biogas. Selain itu, IPAL komunal akan lebih efisiensi pada biaya pembuatan dan perawatan. Pembangunan IPAL komunal sejalan perencanaan Dinas Lingkungan Hidup Kota Surakarta karena Kementerian Lingkungan Hidup memiliki program bantuan pembangunan IPAL komunal bagi IKM.

Permasalahan yang kemudian timbul dalam upaya membangun IPAL komunal adalah berapa jumlah IPAL yang akan dibangun untuk mendukung pengolahan limbah cair menjadi biogas. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menghitung estimasi total limbah IKM tahu-tempe dan membaginya dengan kapasitas penampungan IPAL yang akan dibangun. Kapasitas maksimal sebuah IPAL biodigester dapat dilihat pada dokumen Badan Standarisasi Nasional (2012). Permasalahan lain berkaitan dengan pembangunan IPAL komunal adalah di lokasi mana letak IPAL tersebut akan didirikan. Hal ini menjadi masalah khusus karena sebagai sebuah kawasan industri kecil, kawasan tersebut sekaligus menjadi area permukiman, sehingga tempat-tempat yang bisa dijadikan alternatif lokasi pembangunan IPAL komunal sangat terbatas. Area yang mungkin dijadikan lokasi IPAL komunal adalah area kosong di tepian sungai, area kosong di tanah milik pengusaha tahu-tempe, atau area kosong di tanah milik warga bukan pengusaha tahu-tempe.

Penentuan lokasi IPAL komunal bagi IKM tahu-tempe telah dilakukan oleh Wayan Suletra, Priyandari, dan Jauhari (2018). Namun, di dalam penelitian tersebut, penentuan lokasi hanya didasarkan pada optimalisasi jarak IKM ke titik lokasi IPAL dan kapasitas IPAL. Beberapa penelitian berkaitan dengan penentuan lokasi IPAL, baik IPAL untuk limbah industri maupun limbah domestik, mengemukakan bahwa selain pertimbangan jarak, kriteria lain juga perlu dipertimbangkan. Kriteria tersebut antara lain kriteria jumlah penduduk yang dilayani, jarak dengan pemukiman, kemiringan lokasi IPAL, jenis tanah, tata guna lahan, legalitas lahan, bahaya banjir, badan air penerima, dan batas administrasi wilayah (Mende, Kumurur, & Moniaga, 2015; Samsuhadi, 2012). Saleh, Selintung, dan Barkey (2013) dan Fajri (2013) mengelompokkan kriteria pemilihan dalam beberapa kategori seperti kriteria ekonomi, lingkungan, teknis, dan regulasi. Oleh karena itu, pada penelitian Kusuma, Priyandari, Suletra, dan Jauhari (2017) telah merangkum sejumlah kriteria yang relevan digunakan untuk pemilihan lokasi IPAL khusus untuk IPAL bagi IKM tahu-tempe di kawasan Mojosongo, Kota Surakarta.

Adanya sejumlah kriteria dalam memilih lokasi IPAL komunal, mengarahkan pada pengambilan keputusan multi atribut atau *multi atribut decision making* (MADM) yang merupakan salah satu bentuk dari *multi criteria decision making* (MCDM) (Hwang & Yoon, 1981). Adapun metode yang dipilih untuk memilih lokasi IPAL pada penelitian ini adalah Fuzzy TOPSIS. Fuzzy TOPSIS dalam beberapa literatur digunakan untuk pemilihan lokasi (Karimi, Mehrdadi, Hashemian, Nabi-Bidhendi, & Tavakkoli-Moghaddam, 2011; Yong, 2006). Metode TOPSIS dipilih karena pengambilan keputusan pemilihan alternatif lokasi IPAL menggunakan pendekatan *single synthesizing criteria*, dimana TOPSIS termasuk salah satu metode di dalamnya (Guitouni & Martel, 1998). TOPSIS relatif memberikan kemudahan dalam melakukan pengolahan atau agregasi data/informasi yang bersifat kuantitatif (objektif) dan kualitatif (subjektif) pada masing-masing atribut (kriteria) sebagai input untuk menilai performansi setiap alternatif ke dalam sebuah matrik keputusan (Guitouni & Martel, 1998; Ishizaka & Nemery, 2013). Metode TOPSIS diperkenalkan oleh (Hwang & Yoon, 1981), yakni metode yang mendefinisikan sebuah indek yang disebut kedekatan (kemiripan) relatif ke solusi ideal positif dan jarak yang lebih jauh ke solusi ideal negatif. Metode TOPSIS ini, juga salah satu metode yang relevan untuk menyelesaikan masalah pemilihan atau pembuatan peringkat (Ishizaka & Nemery, 2013). Ketiga alasan tersebut sejalan dengan mekanisme atau topologi pemilihan metode MADM (Guitouni & Martel, 1998). Adapun penggunaan Fuzzy pada metode TOPSIS, menjadi Fuzzy TOPSIS, didasarkan pada pertimbangan untuk mengakomodir kemudahan bagi pengambil keputusan dalam memberikan nilai/pendapat pada atribut (kriteria) subjektif menggunakan variabel linguistik (Guo & Zhao, 2015). Hal tersebut sejalan dengan alasan munculnya metode-metode fuzzy MADM adalah untuk mengakomodir masalah kekaburan data atau menghasilkan keputusan dengan mengestimasi nilai walaupun dengan informasi yang tidak presisi (Anshori, 2012; Bellman & Zadeh, 1970; Kahraman, Ertay, & Büyükoçkan, 2006).

2. Metode Penelitian

Pemilihan alternatif lokasi IPAL komunal bagi IKM tahu-tempe di Kelurahan Mojosongo pada artikel ini difokuskan pada metode pengambilan keputusan. Kriteria-kriteria pengambilan keputusan menggunakan kriteria teknis, administratif dan sosial (Kusuma et al., 2017). Penggunaan kriteria-kriteria Kusuma et al. (2017) karena kriteria-kriteria yang disusun sudah spesifik untuk digunakan pada pemilihan lokasi IPAL industri tahu-tempe dan proses penentuan kriteria telah melibatkan pemangku kepentingan yakni Dinas Lingkungan Hidup Kota Surakarta, Dinas Pekerjaan Umum dan Pemanfaatan Ruang Kota Surakarta dan Dinas Perindustrian dan Tenaga Kerja Kota Surakarta. Daftar kriteria dan subkriteria pemilihan IPAL industri tahu-tempe dan bobot kepentingan setiap kriteria dan sub kriteria disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria pemilihan dan nilai bobot kepentingan setiap kriteria

Kriteria	Subkriteria	Bobot global
Teknis	0,4315 T1 Jarak lokasi IPAL ke sumber limbah	0,1495
	T2 Ketinggian lokasi IPAL	0,1946
	T3 Resiko bahaya banjir	0,2443
	T4 Jumlah IKM ditampung	0,2138
	T5 Kemiringan lahan rata-rata	0,1562
Administratif	0,2424 N1 Tata guna lahan	0,4158
	N2 Legalitas lahan	0,5842
Sosial	0,3261 S1 Penerimaan masyarakat	0,9370
	S2 Komitmen IKM berkontribusi terhadap biaya perawatan	0,2323
	S3 Komitmen IKM mematuhi SOP penyaluran limbah	0,2184
	S4 Perizinan usaha IKM	0,2113
	S5 Jumlah rumah tangga dipasok biogas	0,2443

Sumber: (Kusuma et al., 2017)

2.1 Estimasi Kebutuhan Jumlah IPAL Komunal

Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh setiap IKM tahu-tempe dihitung dengan pendekatan sebagai berikut. Setiap pemasakan tahu sebesar 1 kg kedelai, menghasilkan limbah cair (*whey*) sebanyak 9,46 liter (Raliby, Rusdijati, & Rosyidi, 2008). Oleh karena tidak ada data rata-rata produksi harian, tetapi terdapat informasi mengenai kapasitas produksi di setiap IKM, maka volume limbah cair perhari untuk setiap IKM adalah kapasitas produksi perhari (kg/hari) dikalikan dengan nilai konversi produksi limbah cair yaitu 9,46 (liter/kg). Kemudian untuk menghasilkan biogas, limbah cair membutuhkan waktu tinggal sekitar 3 hari di dalam biodigester (Sadzali, 2010). Badan Standarisasi Nasional (2012) menyebutkan bahwa IPAL biodigester dengan ukuran besar dapat menampung 45m³. Dengan demikian, estimasi jumlah kebutuhan IPAL komunal di kawasan tersebut dihitung dengan persamaan 1.

$$n = \frac{w \sum_i (k_i * h)}{c} \quad (1)$$

n : estimasi jumlah IPAL komunal yang dibutuhkan (unit)

w : waktu tinggal limbah dalam biodigester (hari)

k : kapasitas produksi tahu-tempe setiap IKM per hari (kg/hari)

h : nilai konversi produksi limbah cair (liter/kg)

c : kapasitas biodigester IPAL komunal (liter)

2.2 Pemilihan IPAL Komunal

Pemilihan alternatif lokasi menggunakan enam tahapan perhitungan metode Fuzzy TOPSIS sebagaimana dijelaskan oleh Chu (2002) dan ditambah dengan satu tahapan untuk memilih empat IPAL komunal dari tujuh alternatif IPAL. Ketujuh tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut.

Langkah 1: Menyusun matrik keputusan.

Pengambilan keputusan pemilihan alternatif lokasi IPAL menggunakan pendekatan single *synthesizing criteria*, yang berarti terdapat sebuah matrik keputusan yang merepresentasikan data nilai-nilai performansi masing-masing alternatif untuk setiap atribut (kriteria) pemilihan. Khusus untuk subkriteria sosial S1, S2, S3 dan S4 yang berupa penilaian subjektif dari IKM, maka penilaian menggunakan variabel linguistik dengan nilai *triangular fuzzy number* (TFN) antara nol (0) sampai satu (1) merujuk pada literatur Cheng, Yang, dan Hwang (1999) (Lihat Tabel 2). Metode agregasi dan penghitungan rata-rata penilaian dari beberapa responden untuk nilai *fuzzy* merujuk pada Chu (2002).

Tabel 2. Skala variabel linguistik dan nilai TFN

Skala linguistik		Nilai TFN
Sangat Buruk (<i>Very Poor</i>)	Sangat tidak setuju (STS)	(0; 0; 0,20)
Buruk (<i>Poor</i>)	Tidak setuju (TS)	(0,05; 0,25; 0,45)
Cukup (<i>Fair</i>)	Netral (N)	(0,30; 0,50; 0,70)
Baik (<i>Good</i>)	Setuju (S)	(0,60; 0,75; 0,90)
Sangat Baik (<i>Very Good</i>)	Sangat setuju (SS)	(0,80; 1; 1)

Langkah 2: Mentransformasi nilai objektif dalam matrik keputusan

Nilai objektif suatu kriteria yang berbeda-beda satuan dan sifatnya (*large better* atau *small better*) dengan kriteria lainnya perlu diubah menjadi nilai dengan skala nol (0) sampai dengan satu (1). Transformasi nilai objektif pada setiap kriteria menggunakan persamaan (2) jika nilai kriteria bersifat *benefit* (*large is better*) atau persamaan (3) jika nilai kriteria bersifat *cost* (*small is better*).

$$x_{ij} = \frac{r_{ij}}{\max\{r_{ij}\}}, \forall j \in B \quad (2)$$

$$x_{ij} = \frac{\min\{r_{ij}\}}{r_{ij}}, \forall j \in C \quad (3)$$

x_{ij} : nilai objektif hasil transformasi

r_{ij} : nilai objektif performansi alternatif i pada kriteria j

B : subkriteria bersifat *benefit*, C : subkriteria bersifat *cost*

Langkah 3: Menghitung nilai performansi berbobot

Setiap nilai performansi alternatif pada masing-masing kriteria di dalam matrik keputusan, dikalikan dengan bobot global tiap kriteria yang terdapat pada Tabel 1. Simbol \otimes merepresentasikan untuk perkalian data pada kriteria yang menggunakan data *fuzzy*.

$$u_{ij} = x_{ij} \otimes w_j \quad (4)$$

u_{ij} : nilai performansi berbobot pada alternatif i , kriteria j

w_j : bobot kriteria j

Langkah 4: Menentukan solusi ideal positif dan negatif

Solusi ideal positif adalah suatu himpunan nilai terbaik alternatif untuk setiap kriteria yang diambil dari nilai performansi berbobot (persamaan 4) dan demikian sebaliknya untuk solusi ideal negatif (persamaan 5).

$$A^+ = \{u_1^+, u_2^+, \dots, u_j^+, \dots, u_n^+\} \text{ dimana } u_j^+ = \max_i u_{ij} \quad (4)$$

$$A^- = \{u_1^-, u_2^-, \dots, u_j^-, \dots, u_n^-\} \text{ dimana } u_j^- = \min_i u_{ij} \quad (5)$$

A^+ : himpunan solusi ideal positif

A^- : himpunan solusi ideal negatif

u_j^+ : nilai performansi positif dari suatu kriteria j

u_j^- : nilai performansi negatif dari suatu kriteria j

Langkah 5: Menghitung jarak alternatif terhadap nilai ideal positif dan negatif

Tahap berikutnya adalah menghitung jarak setiap alternatif terhadap nilai ideal positif dan negatif untuk masing-masing kriteria. Khusus untuk subkriteria sosial S1, S2, S3 dan S4, jarak alternatif terhadap nilai ideal positif dihitung dengan persamaan (6) dan nilai ideal negatif menggunakan persamaan (7). Adapun subkriteria lain yang datanya berupa data non fuzzy, jarak dihitung menggunakan pendekatan *euclidian* biasa (persamaan 8 atau 9). Total jarak positif dan negatif setiap alternatif dihitung menggunakan persamaan (10) dan (11).

$$d_{ij}^+ = \sqrt{\frac{1}{k} \sum (u_j^+ - u_{ij})^2} \quad (6)$$

$$d_{ij}^- = \sqrt{\frac{1}{k} \sum (u_j^- - u_{ij})^2} \quad (7)$$

$$d_{ij}^+ = \sqrt{(u_j^+ - u_{ij})^2} \quad (8)$$

$$d_{ij}^- = \sqrt{(u_j^- - u_{ij})^2} \quad (9)$$

$$s_i^+ = \sum d_{ij}^+ \quad (10)$$

$$s_i^- = \sum d_{ij}^- \quad (11)$$

d_i^+ : jarak setiap alternatif i terhadap nilai ideal positif

d_i^- : jarak setiap alternatif terhadap nilai ideal negatif

k : bernilai 3, karena menggunakan *triangular fuzzy number*.

s_i^+ : total jarak ideal positif alternatif i

s_i^- : total jarak ideal negatif alternatif i

Langkah 6: Menghitung nilai *closeness coefficient*

Closeness coefficient (CC_i) adalah nilai preferensi untuk setiap alternatif yang dihitung dari nilai total jarak ideal negatif dibagi dengan jumlah nilai total jarak ideal positif ditambah dengan nilai total jarak ideal negatif (persamaan (12)). Semakin besar nilai CC_i suatu alternatif menunjukkan semakin baik alternatif tersebut.

$$CC_i = \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-} \quad (12)$$

CC_i : *Closeness coefficient* alternatif i .

Langkah 7: Menghitung nilai CC_i setiap kombinasi

Oleh karena setiap alternatif IPAL komunal memiliki interdependensi antara satu IPAL dengan IPAL lainnya yang disebabkan oleh faktor kedekatan jarak dan faktor kapasitas pengolahan limbah, maka tidak memungkinkan memilih beberapa IPAL dari sejumlah alternatif IPAL secara sendiri-sendiri berdasarkan *rating* individu yang diperoleh (CC_i). Oleh karena itu, nantinya akan dibentuk kombinasi atau kelompok alternatif yang masing masing beranggotakan n IPAL. Pembentukan kombinasi (anggota kelompok) dilakukan secara sederhana (secara visual) dengan tidak mengambil alternatif IPAL sebagai anggota kelompok yang jaraknya sangat berdekatan.

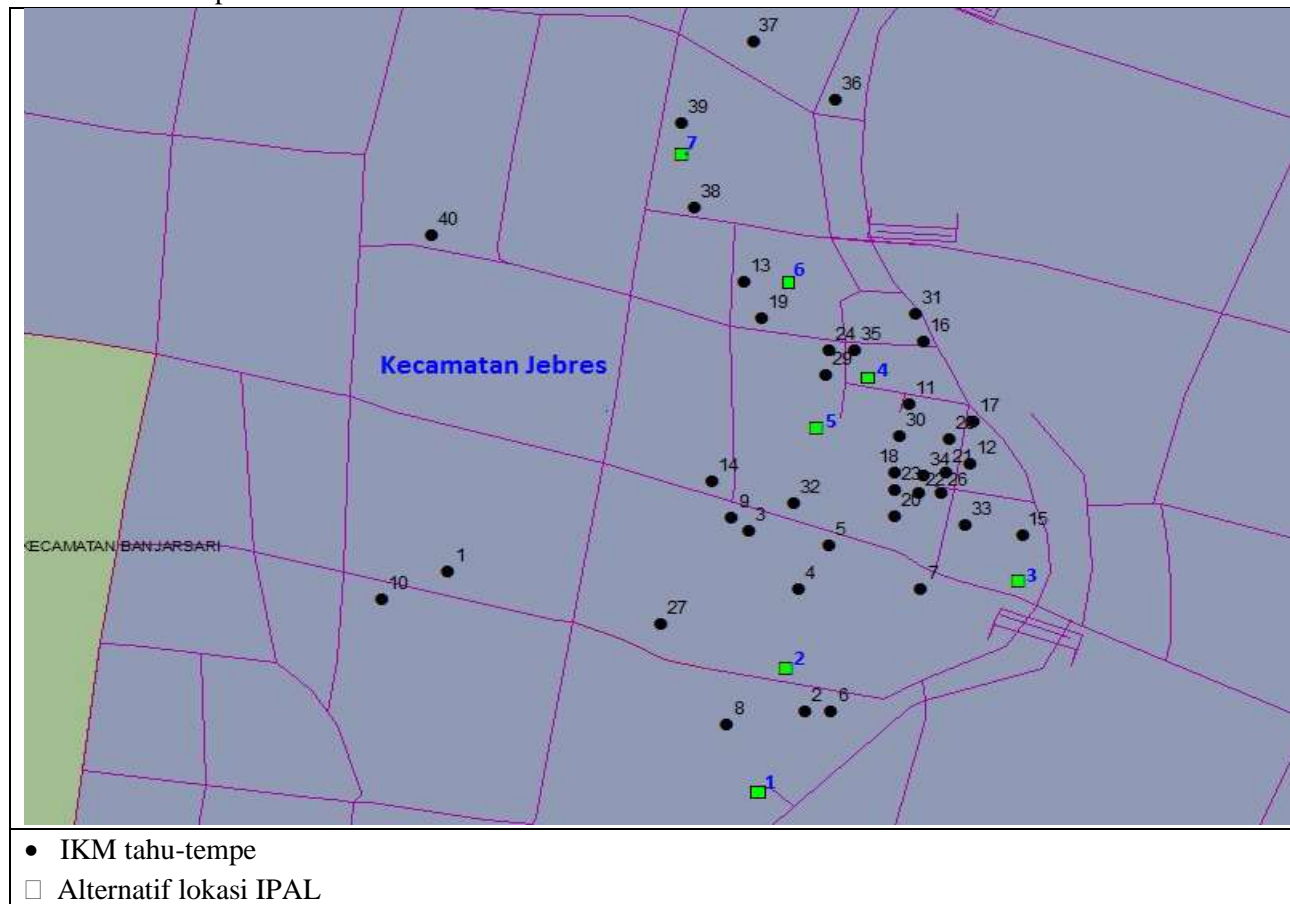
Selanjutnya, penjumlahan nilai CC_i pada setiap kombinasi tersebut menjadi nilai rangking karena semakin besar nilai CC_i total suatu kombinasi semakin baik kombinasi tersebut. Kombinasi dengan rangking terbaik dipilih dan diperoleh rekomendasi lokasi-lokasi IPAL komunal bagi IKM tahu-tempe di Mojosongo.

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang dikumpulkan untuk pengambilan keputusan adalah data titik koordinat lokasi IKM tahu-tempe, rata-rata produksi tahu-tempe perhari, dan data titik koordinat alternatif lokasi IPAL komunal. Selain itu, dilakukan juga pengambilan data performansi setiap alternatif lokasi IPAL berdasarkan subkriteria pada Tabel 1, yaitu jarak lokasi IPAL ke sumber limbah, ketinggian lokasi IPAL, resiko bahaya banjir, jumlah IKM ditampung, kemiringan lahan rata-rata, tata guna lahan, legalitas lahan, penerimaan masyarakat, komitmen IKM berkontribusi terhadap biaya perawatan, komitmen IKM mematuhi SOP penyaluran limbah, perizinan usaha IKM, dan jumlah rumah tangga yang diestimasikan dapat dipasok biogas hasil dari proses pengolahan limbah cair.

Berdasarkan survei di wilayah industri tahu-tempe Mojosongo, terdapat 41 IKM tahu-tempe sebagaimana disajikan pada Gambar 1. Berdasarkan data yang diolah terkait total volume produksi limbah cair industri tahu-tempe di wilayah tersebut, diperoleh estimasi limbah cair sebesar 161,168 liter untuk waktu tinggal selama 3 hari. Dengan kapasitas IPAL sebesar 45 m³, maka dibutuhkan IPAL komunal sebanyak empat unit untuk mendukung pengolahan limbah cair dari empat puluh satu IKM tahu-tempe di Mojosongo. Setelah dilakukan survei dan diskusi dengan IKM setempat, terdapat tujuh alternatif lokasi yang bisa digunakan untuk

pembangunan IPAL komunal di kawasan IKM tahu-tempe Mojosongo. Gambar 1 merepresentasikan sebaran 41 IKM tahu-tempe dan 7 alternatif lokasi IPAL.



Gambar 1. Sebaran 41 IKM tahu-tempe dan 7 alternatif lokasi IPAL

Profil alternatif lokasi IPAL untuk kriteria administratif dan teknis disajikan pada Apendiks A Tabel A2. Subkriteria tata guna lahan (N1) hamper seluruhnya berupa lahan kosong, kecuali pada alternatif IPAL4 yang berupa lahan dengan bangunan. Subkriteria legalitas lahan (N2) untuk alternatif IPAL1 dan IPAL2 adalah lahan milik pemerintah, IPAL5 lahan milik perorangan non-industri, dan alternatif lainnya adalah lahan milik pengusaha IKM tahu-tempe. Alternatif IPAL1 sampai IPAL3 dapat menampung limbah cair dari 11 IKM terdekat, kemudian IPAL4 dan IPAL5 dapat menampung limbah cair dari 13 IKM terdekat, sedangkan IPAL6 dan IPAL7 dapat menampung limbah cair dari 6 IKM terdekat. IPAL6 dan IPAL7 hanya dapat menampung 6 IKM karena IKM-IKM yang terdekat dengan kedua alternatif tersebut memiliki kapasitas produksi tahu-tempe yang besar. Sebagai contoh, IPAL7 dapat menampung IKM nomor 15, 37, 38, 39, 40, dan 41 dengan jumlah limbah cair sebesar $43,605\text{m}^3$. Sebagaimana telah dibahas dalam metodologi, bahwa kapasitas setiap alternatif IPAL hanya maksimum dapat menampung limbah cair 45m^3 .

Proses alokasi IKM-IKM ke sebuah alternatif IPAL terdekat memberikan data jarak lokasi IPAL ke sumber limbah (T1). Hanya saja, pada penelitian ini, jarak yang dimaksud bukan total jarak IKM sebagai sumber limbah ke suatu IPAL, melainkan total jarak dari IKM-IKM yang dialokasikan ke IPAL dibagi dengan jumlah IKM yang direncanakan dialokasikan ke IPAL tersebut. Sebagai contoh, untuk alternatif IPAL7 yang dapat menampung 6 IKM, total jaraknya sebesar 473m dibagi dengan 6 IKM menghasilkan data jarak lokasi IPAL ke sumber limbah (T1) sebesar 78,83m.

Langkah 1: Menyusun matrik keputusan.

Matrik keputusan yang merepresentasikan data nilai-nilai performansi masing-masing alternatif untuk setiap atribut atau subkriteria disajikan pada Apendiks B Tabel B1. Pada tabel tersebut, nilai pada subkriteria S1, S2, S3 dan S4 berupa nilai rata-rata TFN. Sebagai ilustrasi pada tabel 3, Nilai TFN subkriteria komitmen IKM berkontribusi terhadap biaya perawatan (S2) untuk alternatif IPAL7 diperoleh dari hasil survei kepada IKM dan hasil rata-rata grup tersebut menjadi nilai TFN pada Tabel B1 Apendiks B.

Tabel 3. Nilai TFN subkriteria S2 untuk IPAL7

IKM	Komitmen IKM berkontribusi terhadap biaya perawatan (S2)	Nilai TFN		
		<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
15	Setuju	0,60	0,75	0,90
37	Netral	0,30	0,50	0,70
38	Setuju	0,60	0,75	0,90
39	Setuju	0,60	0,75	0,90
40	Sangat setuju	0,80	1,00	1,00
41	Netral	0,30	0,50	0,70
Rataan grup		0,53	0,71	0,85

Nilai subkriteria selain lainnya berupa nilai *crisp* baik yang bersumber dari data hasil perhitungan ataupun data dari skala subkriteria pada Tabel A1 Apendiks A. Subkriteria S5 adalah data jumlah rumah tangga atau IKM yang bisa mendapat saluran biogas dengan maksimal jarak 200 meter dari IPAL. Subkriteria tata guna lahan (N1) dan legalitas lahan (N2) menggunakan nilai skala dari Tabel A1. Subkriteria T1, T2 dan T4 menggunakan nilai objektif hasil perhitungan atau pendataan. Subkriteria T3 dan T5 menggunakan skala dari Tabel A1.

Langkah 2: Mentransformasi nilai objektif dalam matrik keputusan

Subkriteria pada kolom S5 sampai dengan T5 umumnya bersifat *benefit* (*large is better*) sehingga proses transformasi nilai objektif menggunakan persamaan (2). Khusus subkriteria T1 (jarak lokasi IPAL ke sumber limbah atau IKM) bersifat *cost* (*small is better*) sehingga menggunakan persamaan (3). Berikut ini disajikan contoh transformasi untuk subkriteria S5 pada alternatif IPAL1.

$$x_{1(S5)} = \frac{10}{\max\{10,25,15,20,20,20,15\}} = 0,40$$

Contoh transformasi untuk subkriteria T1 pada alternatif IPAL1.

$$x_{1(T1)} = \frac{\min\{10,25,15,20,20,20,15\}}{176,73} = 0,26$$

Nilai-nilai hasil transformasi disajikan pada Apendiks Tabel B2.

Langkah 3: Menghitung nilai performansi matrik berbobot

Setiap nilai pada masing-masing subkriteria dikali dengan bobot global pada Tabel 1. Sebagai contoh, subkriteria T1 (jarak lokasi IPAL ke sumber limbah atau IKM) memiliki bobot global 0,049 sehingga diperoleh nilai performansi berbobot untuk alternatif IPAL1 dan IPAL2 sebagai berikut:

$$u_{1(T1)} = 0,26 \times 0,049 = 0,01$$

$$u_{2(T1)} = 0,35 \times 0,049 = 0,02$$

Selanjutnya, seluruh hasil perhitungan nilai performansi berbobot disajikan pada Apendiks Tabel B3.

Langkah 4: Menentukan nilai ideal positif dan negatif

Dengan memperhatikan data nilai performansi berbobot pada Tabel B3, dicari nilai performansi positif (u_j^+) dan nilai performansi negatif (u_j^-). Sebagai contoh pada kolom subkriteria S1, $u_{(S1)}^+$ diperoleh nilai maksimum 0,04 dan nilai minimum $u_{(S5)}^-$ sebesar 0,02. Kemudian pada kolom subkriteria S2, $u_{(S2)}^+$ diperoleh nilai maksimum 0,09 dan nilai minimum $u_{(S2)}^-$ sebesar 0,03. Demikian juga pada kolom subkriteria S5, $u_{(S5)}^+$ diperoleh nilai maksimum 0,11 dan nilai minimum $u_{(S5)}^-$ sebesar 0,04. Demikian seterusnya sehingga diperoleh solusi ideal positif dan negatif adalah sebagai berikut atau seperti disajikan pada Tabel B4.

$$A^+ = \{0,04, \quad 0,09, \quad 0,08, \quad 0,05, \quad 0,11, \quad 0,10, \quad 0,14, \quad 0,05, \quad 0,06, \quad 0,08, \\ \quad \quad \quad 0,07, \quad 0,05 \}$$

$$A^- = \{0,02, \quad 0,03, \quad 0,03, \quad 0,01, \quad 0,04, \quad 0,00, \quad 0,04, \quad 0,01, \quad 0,06, \quad 0,08, \\ \quad \quad \quad 0,03, \quad 0,01 \}$$

Langkah 5: Menghitung jarak terhadap nilai ideal positif dan negatif

Perhitungan jarak terhadap nilai ideal positif dan negatif subkriteria sosial S1, S2, S3 dan S4 menggunakan persamaan (6) dan persamaan (7). Berikut ini diberikan contoh perhitungan untuk alternatif IPAL1 pada subkriteria S1.

$$d_{1(s1)}^+ = \sqrt{\frac{1}{3}((0,04 - 0,02)^2 + (0,04 - 0,03)^2 + (0,04 - 0,04)^2)} = 0,008$$

$$d_{1(s1)}^- = \sqrt{\frac{1}{3}((0,02 - 0,02)^2 + (0,02 - 0,03)^2 + (0,02 - 0,04)^2)} = 0,008$$

Adapun subkriteria lain yang datanya berupa data non fuzzy, jarak dihitung menggunakan jarak *euclidian* biasa (persamaan 8 dan 9). Contoh perhitungan untuk alternatif IPAL1 pada kriteria S5 sebagai berikut.

$$d_{1(s5)}^+ = \sqrt{(0,11 - 0,04)^2} = 0,063$$

$$d_{1(s5)}^- = \sqrt{(0,04 - 0,04)^2} = 0$$

Hasil perhitungan jarak ideal positif dan negatif disajikan pada Apendiks Tabel B5 dan Apendiks Tabel B6.

Total jarak positif dan negatif setiap alternatif dihitung menggunakan persamaan (10) dan (11). Berikut ini contoh perhitungan untuk alternatif IPAL1. Hasil perhitungan disajikan juga pada Tabel B5 dan B6 pada kolom s^+ dan s^- .

$$s_1^+ = 0,008 + 0,043 + 0,037 + 0,028 + 0,063 + \dots + 0,011 + 0,014 = 0,243$$

$$s_1^- = 0,008 + 0,024 + 0,022 + 0,025 + 0 + 0,101 + \dots + 0,027 + 0,021 = 0,08$$

Langkah 6: Menghitung nilai koefisien kedekatan

Sesuai dengan persamaan (12) perhitungan nilai koefisien kedekatan atau *closeness coefficient* (CC_1) alternatif IPAL1 sebagai berikut. Hasil perhitungan nilai koefisien kedekatan untuk ketujuh alternatif disajikan pada Tabel 4.

$$CC_1 = \frac{0,08}{0,243 + 0,028} = 0,247$$

Tabel 4. Nilai koefisien kedekatan

Alternatif	s^+	s^-	CC_i
IPAL1	0,243	0,080	0,247
IPAL2	0,116	0,143	0,553
IPAL3	0,114	0,140	0,550
IPAL4	0,101	0,154	0,604
IPAL5	0,101	0,154	0,604
IPAL6	0,106	0,150	0,586
IPAL7	0,127	0,129	0,503

Langkah 7: Menghitung nilai CC_i total setiap kombinasi alternatif

Oleh karena setiap IPAL komunal memiliki interdependensi antara satu IPAL dengan IPAL lainnya yang disebabkan oleh faktor kedekatan jarak dan faktor kapasitas pengolahan limbah, maka tidak memungkinkan memilih empat IPAL dari tujuh alternatif IPAL secara sendiri-sendiri berdasarkan *rating* individu yang diperoleh. Oleh karena itu, tujuh alternatif IPAL dibentuk kombinasi kelompok yang masing masing beranggotakan 4 IPAL. Secara teoritik, 7 kombinasi 4 membentuk 35 kelompok kombinasi. Ketiga puluh lima kelompok kombinasi ini direduksi secara sederhana (secara visual) dengan tidak mengambil alternatif kelompok yang di dalamnya terdapat alternatif lokasi IPAL yang sangat berdekatan. Perhatikan Gambar 1, jika sebuah kombinasi memasukkan alternatif IPAL1 sebagai anggota, maka alternatif IPAL2 tidak boleh menjadi anggota karena IPAL1 dan IPAL2 sangat berdekatan jaraknya. Demikian juga sebaliknya jika alternatif IPAL2 menjadi anggota kombinasi, maka IPAL1 tidak dimasukkan sebagai anggota. Aturan tersebut berlaku juga untuk alternatif IPAL4 terhadap IPAL5, dan IPAL6 terhadap IPAL7. Mekanisme pembentukan alternatif kombinasi tersebut menghasilkan delapan buah kombinasi seperti pada Tabel 5.

Dalam rangka memilih kombinasi alternatif IPAL, maka dilakukan penjumlahan nilai CC_i pada setiap kombinasi. Sebagai contoh perhitungan

$$\text{Total } CC_{K22} = 0,553 + 0,550 + 0,604 + 0,586 = 2,29$$

Berdasarkan total nilai CC_i tersebut diperoleh kombinasi IPAL yang direkomendasikan untuk dibangun yakni kombinasi K22 yang berisi alternatif IPAL2, IPAL3, IPAL4 dan IPAL6 atau kombinasi K24 yang berisi alternatif IPAL2, IPAL3, IPAL5 dan IPAL6.

Tabel 5. Kombinasi alternatif lokasi IPAL dan Total CC_i

Kombinasi	Anggota IPAL	Total CC_i	Peringkat
K12	IPAL1, IPAL3, IPAL4, dan IPAL6	1,99	3
K13	IPAL1, IPAL3, IPAL4, dan IPAL7	1,90	4
K14	IPAL1, IPAL3, IPAL5, dan IPAL6	1,99	3
K15	IPAL1, IPAL3, IPAL5, dan IPAL7	1,90	4
K22	IPAL2, IPAL3, IPAL4, dan IPAL6	2,29	1
K23	IPAL2, IPAL3, IPAL4, dan IPAL7	2,21	2
K24	IPAL2, IPAL3, IPAL5, dan IPAL6	2,29	1
K25	IPAL2, IPAL3, IPAL5, dan IPAL7	2,21	2

Masing-masing IPAL dalam kombinasi melayani IKM terdekat selama jumlah limbah yang dialokasikan ke IPAL tidak melebihi kapasitas maksimum IPAL sebesar 45m^3 . Proses alokasi dilakukan secara manual dengan memperhatikan jarak terdekat. Sebagai contoh pada kombinasi K22 terdapat lokasi alternatif IPAL2, IPAL3, IPAL4, dan IPAL6. Selanjutnya IPAL2 akan melayani IKM nomor 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, dan 12, karena kesebelas IKM tersebut adalah IKM yang jaraknya terdekat dengan IPAL2 dan jika jumlah estimasi limbah cair diakumulasi tidak melebihi 45m^3 . Demikian hanya untuk IPAL3 melayani IKM nomor 7, 14, 17, 20, 22, 23, 24, 25, 28, 34, dan 35, kemudian IPAL4 melayani IKM nomor 13, 16, 18, 19, 21, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 36, dan IPAL6 melayani IKM nomor 15, 37, 38, 39, 40, dan 41.

4. Simpulan

Metode Fuzzy TOPSIS telah digunakan dalam pemilihan lokasi IPAL komunal. Empat lokasi IPAL yang direkomendasikan dibangun adalah IPAL2, IPAL3, IPAL6 dan IPAL4 atau IPAL5. Keempat IPAL tersebut diestimasi dapat melayani penanganan limbah cair dari 41 IKM tahu-tempe di Kelurahan Mojosoongo, Kota Surakarta. Penelitian lanjutan dalam pemilihan lokasi IPAL komunal bagi IKM perlu mengkaji penggunaan kriteria teknis yang lebih detail. Sebagai contoh, perlu digunakan data struktur tanah, atau data kemiringan lokasi IKM terlayani oleh suatu IPAL sehingga pengaliran limbah cukup memanfaatkan gravitasi atau tidak menggunakan mesin pompa. Dengan demikian aspek biaya yang tidak dikaji dalam penelitian ini dapat dimasukkan sebagai salah satu pertimbangan.

Daftar Pustaka

- Anshori, Y. (2012). *Pendekatan Triangular Fuzzy Number dalam Metode Analytic Hierarchy Process*. Paper presented at the FORISTEK: Forum Teknik Elektro dan Teknologi Informasi. SNI 7826:2012 Unit Penghasil Biogas dengan Tangki Pencerna (Digester) Tipe Kubah Tetap dari Beton (2012).
- Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management science*, 17(4), B-141-B-164.
- Cheng, C.-H., Yang, K.-L., & Hwang, C.-L. (1999). Evaluating Attack Helicopters by AHP Based on Linguistic Variable Weight. *European journal of operational research*, 116(2), 423-435.
- Chu, T.-C. (2002). Facility Location Selection using Fuzzy TOPSIS Under Group Decisions. *International journal of uncertainty, fuzziness and knowledge-based systems*, 10(06), 687-701.
- Fajri, P. Y. N. (2013). *Pemodelan Spasial untuk Penentuan Lokasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Batik di Kota Pekalongan, Jawa Tengah*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Guitouni, A., & Martel, J.-M. (1998). Tentative Guidelines to Help Choosing an Appropriate MCDA Method. *European journal of operational research*, 109(2), 501-521.
- Guo, S., & Zhao, H. (2015). Optimal Site Selection of Electric Vehicle Charging Station by Using Fuzzy TOPSIS Based on Sustainability Perspective. *Applied Energy*, 158, 390-402.
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Methods for Multiple Attribute Decision Making *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191): Springer.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*: John Wiley & Sons.

- Kahraman, C., Ertay, T., & Büyüközkan, G. (2006). A Fuzzy Optimization Model for QFD Planning Process Using Analytic Network Approach. *European journal of operational research*, 171(2), 390-411.
- Karimi, A., Mehrdadi, N., Hashemian, S., Nabi-Bidhendi, G. R., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). Using of The Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP Methods for Wastewater Treatment Process Selection. *International journal of academic research*, 3(1).
- Kaswinarni, F. (2007). *Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu Studi Kasus Industri Tahu Tandang Semarang, Sederhana Kendal dan Gagak Sipat Boyolali*. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
- Kusuma, H., Priyandari, Y., Suletra, I. W., & Jauhari, W. A. (2017). *Penentuan Kriteria Pemilihan Lokasi IPAL Bersama Industri Tahu Tempe di Kelurahan Mojosongo dengan Pendekatan Fuzzy AHP*. Paper presented at the Seminar Nasional Teknik Industri (SNTI) dan Seminar Nasional Terpadu Keilmuan Teknik Industri (SATELIT).
- Mende, J. C., Kumurur, V. A., & Moniaga, I. L. (2015). Kajian Sistem Pengelolaan Air Limbah pada Permukiman di Kawasan Sekitar Danau Tondano (Studi Kasus: Kecamatan Remboken Kabupaten Minahasa). *SABUA*, 7(1), 395-406.
- Menteri Perindustrian. (1989). *Surat Keputusan Menteri Perindustrian Nomor 291/M/SK/10/1989 tentang Tata Cara Perizinan dan Standar Teknis*. Jakarta: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- Raliby, O., Rusdijati, R., & Rosyidi, I. (2008). *Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas sebagai Bahan Bakar Alternatif pada Industri Pengolahan Tahu*. Laporan Akhir Kegiatan Fasilitasi Riset Unggulan Daerah 2008 Badan Penelitian dan Pengembangan Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Lembaga Penelitian Pengembangan dan Pengabdian pada Masyarakat Universitas Muhammadiyah Magelang.
- Sadzali, I. (2010). Potensi Limbah Tahu sebagai Biogas. *Jurnal UI Untuk Bangsa Seri Kesehatan, Sains, dan Teknologi*, 1(12), 62-69.
- Said, N. I., Indriatmoko, H., Raharjo, N., & Herlambang, A. (2017). Teknologi Pengolahan Limbah Tahu-Tempe dengan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob, Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair. Retrieved 16 Januari 2017, 2017, from <http://www.kelair.bppt.go.id/Sitpa/Artikel/Limbahtt/limbahtt.html>
- Saleh, R., Selintung, M., & Barkey, R. A. (2013). Kelayakan Penerapan Pengolahan Air Limbah Domestik Sistem Terpusat dan Lokasi Lahan Basah Buatan di Kota Kendari. *e_journal Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin*.
- Samsuhadi. (2012). Tata Cara Pemilihan Lokasi IPLT dan IPAL dengan Menggunakan Sistem Skor. *Jurnal Teknologi Lingkungan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)*(Edisi Khusus Hari Lingkungan Hidup), 157-168.
- Wayan Suletra, I., Priyandari, Y., & Jauhari, W. A. (2018). Capacitated set-covering model considering the distance objective and dependency of alternative facilities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 319, 012072. doi: 10.1088/1757-899x/319/1/012072
- Wicaksono, M. (2017, 17 Mei 2017). Manfaatkan Biogas dari Air Limbah Tahu. *KOMPAS*.
- Yong, D. (2006). Plant Location Selection Based on Fuzzy TOPSIS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7-8), 839-844.

Appendix A

Tabel A1. Deskripsi kriteria dan skala penilaian yang digunakan

Kriteria	Subkriteria	Deskripsi data subkriteria
Teknis (T)	T1	Jarak lokasi IPAL ke sumber limbah
	T2	Ketinggian lokasi IPAL
	T3	Resiko bahaya banjir
	T4	Jumlah IKM ditampung
	T5	Kemiringan lahan rata rata
Administratif (N)	N1	Tata guna lahan
	N2	Legalitas lahan
Sosial (S)	S1	Penerimaan masyarakat
	S2	Komitmen IKM berkontribusi terhadap biaya perawatan
	S3	Komitmen IKM mematuhi SOP penyaluran limbah
	S4	Perizinan usaha IKM
	S5	Jumlah rumah tangga disuplai biogas

Tabel A2. Profil alternatif lokasi untuk kriteria administrasi dan teknis

Alternatif	Subkriteria Administratif		Subkriteria Teknis				
	N1	N2	T1 (meter)	T2 (Dpl)	T3	T4 (IKM)	T5 (%)
IPAL1	Tanah kosong	Milik pemerintah	176,73	97	Bebas banjir	11	4,00
IPAL2	Tanah kosong	Milik pemerintah	129,00	97	Bebas banjir	11	20,00
IPAL3	Tanah kosong	Milik pengusaha IKM tahu-tempe	57,27	98	Bebas banjir	11	0,00
IPAL4	Tanah dengan bangunan	Milik pengusaha IKM tahu-tempe	45,23	98	Bebas banjir	13	0,00
IPAL5	Tanah kosong	Milik perorangan non-industri	45,31	99	Bebas banjir	13	0,00
IPAL6	Tanah kosong	Milik pengusaha IKM tahu-tempe	178,67	100	Bebas banjir	6	-6,67
IPAL7	Tanah kosong	Milik pengusaha IKM tahu-tempe	78,83	103	Bebas banjir	6	40,00

Appendix B

Tabel B1. Data matrik keputusan

Alt	S1			S2			S3			S4			S5	N1	N2	T1	T2	T3	T4	T5
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>U</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>U</i>								
IPAL1	0,62	0,80	0,90	0,31	0,50	0,69	0,32	0,50	0,68	0,12	0,32	0,51	10	10	10	176,73	97	10	11	7
IPAL2	0,62	0,80	0,90	0,31	0,50	0,69	0,32	0,50	0,68	0,12	0,32	0,51	25	10	10	129,00	97	10	11	3
IPAL3	0,64	0,80	0,92	0,60	0,75	0,90	0,50	0,66	0,82	0,20	0,39	0,58	15	10	7	57,27	98	10	11	10
IPAL4	0,60	0,77	0,89	0,55	0,71	0,87	0,55	0,71	0,87	0,11	0,29	0,48	20	0	7	45,23	98	10	13	10
IPAL5	0,60	0,77	0,89	0,55	0,71	0,87	0,55	0,71	0,87	0,11	0,29	0,48	20	10	3	45,31	99	10	13	10
IPAL6	0,62	0,79	0,90	0,53	0,71	0,85	0,50	0,67	0,83	0,09	0,29	0,49	20	10	7	178,67	100	10	6	7
IPAL7	0,62	0,79	0,90	0,53	0,71	0,85	0,50	0,67	0,83	0,1	0,3	0,5	15	10	7	78,83	103	10	6	0

Tabel B2. Hasil transformasi data objektif pada matrik keputusan

Alt	S1			S2			S3			S4			S5	N1	N2	T1	T2	T3	T4	T5
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>U</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>								
IPAL1	0,62	0,80	0,90	0,31	0,50	0,69	0,32	0,50	0,68	0,12	0,32	0,51	0,40	1,00	1,00	0,26	0,94	1,00	0,85	0,70
IPAL2	0,62	0,80	0,90	0,31	0,50	0,69	0,32	0,50	0,68	0,12	0,32	0,51	1,00	1,00	1,00	0,35	0,94	1,00	0,85	0,30
IPAL3	0,64	0,80	0,92	0,60	0,75	0,90	0,50	0,66	0,82	0,20	0,39	0,58	0,60	1,00	0,70	0,79	0,95	1,00	0,85	1,00
IPAL4	0,60	0,77	0,89	0,55	0,71	0,87	0,55	0,71	0,87	0,11	0,29	0,48	0,80	0,00	0,70	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00
IPAL5	0,60	0,77	0,89	0,55	0,71	0,87	0,55	0,71	0,87	0,11	0,29	0,48	0,80	1,00	0,30	1,00	0,96	1,00	1,00	1,00
IPAL6	0,62	0,79	0,90	0,53	0,71	0,85	0,50	0,67	0,83	0,09	0,29	0,49	0,80	1,00	0,70	0,25	0,97	1,00	0,46	0,70
IPAL7	0,62	0,79	0,90	0,53	0,71	0,85	0,50	0,67	0,83	0,09	0,29	0,49	0,60	1,00	0,70	0,57	1,00	1,00	0,46	0,00

Tabel B3. Data matrik keputusan berbobot

Alt	S1			S2			S3			S4			S5	N1	N2	T1	T2	T3	T4	T5
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>U</i>	<i>L</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>								
IPAL1	0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	0,07	0,03	0,05	0,06	0,01	0,03	0,05	0,04	0,10	0,14	0,01	0,06	0,08	0,06	0,04
IPAL2	0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	0,07	0,03	0,05	0,06	0,01	0,03	0,05	0,11	0,10	0,14	0,02	0,06	0,08	0,06	0,03
IPAL3	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08	0,09	0,05	0,06	0,08	0,02	0,04	0,05	0,06	0,10	0,10	0,04	0,06	0,08	0,06	0,01
IPAL4	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,05	0,07	0,08	0,01	0,03	0,04	0,08	0,00	0,10	0,05	0,06	0,08	0,07	0,05
IPAL5	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,05	0,07	0,08	0,01	0,03	0,04	0,08	0,10	0,04	0,05	0,06	0,08	0,07	0,05
IPAL6	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,05	0,06	0,08	0,01	0,03	0,04	0,08	0,10	0,10	0,01	0,06	0,08	0,03	0,05
IPAL7	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,05	0,06	0,08	0,01	0,03	0,04	0,06	0,10	0,10	0,03	0,06	0,08	0,03	0,03

Tabel B4. Solusi ideal positif dan solusi ideal negatif

Solusi Ideal	S1	S2	S3	S4	S5	N1	N2	T1	T2	T3	T4	T5
A+	0,04	0,09	0,08	0,05	0,11	0,10	0,14	0,05	0,06	0,08	0,07	0,05
A-	0,02	0,03	0,03	0,01	0,04	0,00	0,04	0,01	0,06	0,08	0,03	0,01

Tabel B5. Matrik untuk perhitungan jarak ideal positif

Alt	d^+											s^+	
	S1	S2	S3	S4	S5	N1	N2	T1	T2	T3	T4		T5
IPAL1	0,008	0,043	0,037	0,028	0,063	0,000	0,000	0,036	0,004	0,000	0,011	0,014	0,243
IPAL2	0,008	0,043	0,037	0,028	0,000	0,000	0,000	0,032	0,004	0,000	0,011	0,015	0,116
IPAL3	0,007	0,019	0,023	0,022	0,042	0,000	0,042	0,010	0,003	0,000	0,011	0,035	0,114
IPAL4	0,008	0,023	0,019	0,029	0,021	0,101	0,042	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,101
IPAL5	0,008	0,023	0,019	0,029	0,021	0,000	0,099	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,101
IPAL6	0,008	0,024	0,023	0,030	0,021	0,000	0,042	0,036	0,002	0,000	0,038	0,000	0,106
IPAL7	0,008	0,024	0,023	0,030	0,042	0,000	0,042	0,021	0,000	0,000	0,038	0,015	0,127

Tabel B6. Matrik untuk perhitungan jarak ideal negatif

Alt	d^-											s^-	
	S1	S2	S3	S4	S5	N1	N2	T1	T2	T3	T4		T5
IPAL1	0,008	0,024	0,022	0,025	0,000	0,101	0,099	0,000	0,000	0,000	0,027	0,021	0,080
IPAL2	0,008	0,024	0,022	0,025	0,063	0,101	0,099	0,005	0,000	0,000	0,027	0,020	0,143
IPAL3	0,009	0,045	0,034	0,030	0,021	0,101	0,057	0,026	0,001	0,000	0,027	0,000	0,140
IPAL4	0,008	0,042	0,039	0,023	0,042	0,000	0,057	0,036	0,001	0,000	0,038	0,035	0,154
IPAL5	0,008	0,042	0,039	0,023	0,042	0,101	0,000	0,036	0,001	0,000	0,038	0,035	0,154
IPAL6	0,008	0,040	0,035	0,024	0,042	0,101	0,057	0,000	0,002	0,000	0,000	0,035	0,150
IPAL7	0,008	0,040	0,035	0,024	0,021	0,101	0,057	0,016	0,004	0,000	0,000	0,020	0,129

