

METODE FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS UNTUK PEMILIHAN TIPE TERMINAL LNG : STUDI KASUS WILAYAH AMBON

Putu Widhi Aprilia, Ketut Buda Artana, A.A.B. Dinariyana,

Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
Korespondensi, diaprilia@gmail.com

Abstrak: Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penduduk, kebutuhan listrik di Indonesia semakin bertambah setiap tahunnya. Salah satu wilayah di Indonesia Timur yang mengalami kekurangan pasokan listrik yaitu wilayah Maluku. Mengacu pada RUPTL PLN 2018 terjadi kekurangan cadangan listrik sebesar 30% di sistem kelistrikan Ambon dan untuk mengatasi kurangnya pasokan listrik tersebut, PLN mencanangkan pembangunan pembangkit berjenis PLTG/MG/GU di wilayah Maluku dengan LNG sebagai bahan bakarnya. Pemanfaatan LNG sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik di wilayah Maluku tentu harus ditunjang dengan tersedianya fasilitas terminal penerima LNG. Pada studi ini terdapat dua lingkup penelitian, yaitu menentukan kapasitas terminal hub LNG berdasarkan skenario distribusi LNG di Maluku dan memilih tipe terminal hub yang nantinya akan diletakkan di Ambon. Penentuan skenario distribusi LNG dilakukan dengan mengklusterkan seluruh pembangkit listrik bertenaga gas di wilayah Maluku dengan metode *K-Means Clustering* kemudian menentukan kapal LNG yang sesuai sehingga diketahui *round trip* dan kapasitas tanki penyimpanan. Proses pemilihan tipe terminal hub LNG dilakukan dengan menggunakan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process*. Fuzzy-AHP merupakan pengembangan dari metode AHP dengan pendekatan konsep *fuzzy*. Terdapat lima pertimbangan dalam pemilihan tipe terminal LNG diantaranya yaitu aspek teknis, aspek finansial, aspek *safety & security*, aspek lingkungan dan aspek sosial ekonomi. Sedangkan alternatif pemilihan tipe terminal yang digunakan diantaranya yaitu *onshore receiving terminal* dengan *flat bottom tank*, *onshore receiving terminal* dengan *vertical tank*, FSU dengan *floating regasification*, dan FSRU. Penelitian ini menghasilkan usulan konsep terminal hub LNG dengan pertimbangan kapasitas tanki dan pola distribusi LNG di wilayah Maluku.

Kata kunci: Distribusi LNG, Fuzzy AHP, Pemilihan Tipe Terminal LNG

PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penduduk, kebutuhan listrik di Indonesia semakin bertambah setiap tahunnya. Menurut (BPPT, 2018) tahun 2016 – 2050 terjadi peningkatan konsumsi listrik setiap tahunnya. Energi listrik memiliki peranan yang penting dalam sektor industri, sektor rumah tangga maupun sektor transportasi. Permasalahan pada sistem kelistrikan di Ambon saat ini yaitu kurangnya cadangan listrik sebesar 30% serta pembangkit yang ada di wilayah Ambon masih menggunakan bahan bakar minyak. Minyak, gas bumi dan batubara merupakan sumber energi yang paling sering digunakan dalam pembangkit listrik. Kedepannya pemerintah mencanangkan pembangkit berjenis PLTG/MG/GU. Pembangkit listrik jenis PLTU tidak menjadi pilihan dalam perencanaan jangka panjang untuk sistem Ambon, karena sumber energi batubara tidak tersedia di wilayah Maluku, serta adanya kendala disisi transportasi dan isu ketersediaan batubara untuk operasi pembangkit. Disisi lain, penggunaan sumber energi minyak juga dirasa kurang tepat karena menurunnya cadangan minyak bumi, terjadinya kenaikan harga bahan bakar minyak, serta bahan bakar minyak tidak ramah lingkungan. Sedangkan *Liquified Natural Gas* (LNG) dirasa tepat untuk menjadi sumber energi pembangkit listrik karena lebih

ramah lingkungan dibanding dengan penggunaan batubara maupun minyak serta lebih unggul dari segi transportasi. Disisi lain penggunaan gas alam juga diprediksi akan mengalami peningkatan setiap tahunnya, berdasarkan RUPTL PLN 2018 komposisi produksi listrik di Wilayah Maluku dan Papua dengan energi gas alam termasuk LNG didalamnya akan meningkat hingga 75% di tahun 2027. Terdapat 4 segmen pada rantai pasok LNG antara lain produksi, pencairan, transportasi LNG menuju terminal penerima dan penyimpanan, dan regasifikasi. Penggunaan LNG untuk bahan pembangkit listrik tentu harus didukung dengan tersedianya fasilitas – fasilitas penunjang. Salah satu fasilitas penunjang yang penting dalam rantai pasok LNG adalah terminal LNG. Pemilihan tipe terminal LNG harus memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, salah satu pertimbangan dalam menentukan tipe terminal LNG adalah kapasitas tanki penyimpanan LNG yang dipengaruhi oleh kapasitas pembangkit dan pola distribusi LNG di wilayah tersebut.

F-AHP adalah salah satu metode perankingan dan merupakan pengembangan metode AHP dengan pendekatan konsep *fuzzy*. Konsep *fuzzy* didefinisikan sebagai sistem kabur, sistem *fuzzy* pada dasarnya merupakan sebuah logika yang memiliki nilai kekaburan antara benar dan salah. Sebuah nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan didalam logika *fuzzy*, hal ini bergantung pada bobot keanggotaan yang dimiliki oleh logika *fuzzy*. Derajat keanggotaan pada sistem *fuzzy* bernilai 0 hingga 1. F-AHP *mengatasi* kelemahan AHP yang memiliki sifat subjektif lebih banyak pada setiap kriteria. Ketidakpastian bilangan digambarkan dengan urutan skala. Digunakan aturan fungsi dalam bentuk bilangan *fuzzy* segitiga atau *Triangular Fuzzy Number* (TFN) yang disusun berdasarkan himpunan linguistik untuk menentukan derajat keanggotaan pada F-AHP. Sehingga, bilangan pada pembobotan AHP diubah ke dalam himpunan skala TFN. FAHP merupakan salah satu metode yang dapat menyelesaikan permasalahan dalam pemilihan tipe terminal penerima LNG untuk wilayah Ambon.

METODE PENELITIAN

Dalam studi ini terdapat 2 lingkup bahasan, lingkup bahasan pertama yaitu menentukan kapasitas tanki penyimpanan LNG di Terminal dengan mempertimbangkan pola distribusi LNG di wilayah Maluku. Untuk menentukan pola distribusi LNG di wilayah Maluku, perlu dilakukan clustering pembangkit untuk mempermudah proses pendistribusian LNG. Clustering/pengelompokan pembangkit berdasarkan jarak terdekat dengan menggunakan metode K-Means Clustering, kemudian mengidentifikasi kapal LNG yang sesuai dan menentukan round trip kapal tersebut untuk menentukan kapasitas tanki di terminal penerima. Nantinya kapasitas tanki terminal akan menjadi salah satu pertimbangan pada lingkup bahasan kedua. Lingkup bahasan kedua yaitu memilih tipe terminal LNG yang sesuai, untuk memilih terminal LNG digunakan metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process. F-AHP adalah salah satu metode perankingan dan merupakan pengembangan metode AHP dengan pendekatan konsep *fuzzy*. Berikut tahapan pengerjaan penelitian ini :

Identifikasi lokasi terminal LNG

Untuk mengidentifikasi lokasi terminal penerima LNG diperlukan data pembangkit serta data kebutuhan gas setiap pembangkit. Dalam studi ini data yang digunakan yaitu data dari RUPTL PLN 2018-2027. Setelah data pembangkit serta kebutuhan gas nya diketahui, kemudian mengelompokkan pembangkit yang berdekatan. Pembangkit yang terletak di wilayah yang sama nantinya akan dilayani oleh satu terminal saja. Selanjutnya menentukan titik koordinat dari semua terminal penerima yang berada di Maluku.

Pengelompokkan terminal LNG dengan metode *K-Means Clustering*

Setelah titik koordinat masing – masing terminal penerima LNG diketahui, kemudian dilakukan pengelompokkan. Hal ini bertujuan untuk mempermudah proses pendistribusian LNG di Maluku dengan menggunakan kapal LNG. Metode yang digunakan untuk mengelompokkan

terminal LNG di Maluku adalah K-Means Clustering. Langkah – langkah dalam pengelompokan terminal LNG dengan metode K-Means Clustering sebagai berikut :

- Menentukan jumlah kluster k
- Menentukan titik centroids secara acak
- Mentukan jarak setiap elemen yang ada terhadap setiap titik centroids. Dengan menggunakan teori Euclidian Distance yang dirumuskan sebagai berikut :

$$D(i,j) = \sqrt{(x_{1i} - x_{1j})^2 + (x_{2i} - x_{2j})^2 + \dots + (x_{ki} - x_{kj})^2} \quad (1)$$

Keterangan :

$D(i,j)$ = jarak data i ke pusat cluster j

X_{ki} = Data urutan ke- i pada atribut data ke- k .

X_{kj} = Titik pusat urutan ke- j pada atribut ke k .

Jarak dengan nilai minum akan menjadi patokan dalam menentukan cluster.

- Jika pusat cluster berubah maka perlu dilakukan iterasi, dengan cara menugaskan kembali setiap objek dengan memakai pusat cluster yang baru.

Identifikasi Kapal LNG

Data kapal yang diperlukan dalam skenario distribusi ini yaitu data kecepatan kapal, kapasitas tanki muat kapal, dan kapasitas pompa bongkar muat kapal. Data kapal LNG tersebut nantinya akan digunakan untuk menentukan proses distribusi LNG di Maluku

Pemilihan Tipe Terminal dengan Fuzzy AHP

Langkah-langkah metode FAHP adalah sebagai berikut :

- Menyusun hierarki dan membuat matriks perbandingan berpasangan. Terdapat 4 tingkatan dalam menyusun struktur hierarki, tingkatan pertama yaitu tujuan, tingkatan kedua yaitu kriteria, tingkatan ketiga yaitu sub kriteria dan tingkatan keempat adalah alternatif.
- Menghitung nilai CR dari hasil perhitungan matriks perbandingan dengan syarat $CR \leq 0,1$. Apabila tidak memenuhi nilai $CR \leq 0,1$, maka penilaian harus diulang dengan perbaikan perbandingan berpasangan.
- Jika uji rasio konsistensi telah memenuhi syarat ($CR \leq 0,1$) maka langkah selanjutnya yaitu mengubah hasil pembobotan kedalam bilangan fuzzy menggunakan skala TFN

Tabel 1. Skala Triangular Fuzzy Number

Skala AHP	Skala Linguistik	Skala TFN (l;m;u)
1	Sama penting	(1;1;1)
3	Sedikit Lebih Penting	(1;3;5)
5	Lebih Penting	(3;5;7)
7	Sangat Penting	(5;7;9)
9	Paling Penting	(7;9;9)

- Menentukan Sintesis Fuzzy

Pada tahap ini, nilai sintesis fuzzy dibuat pada setiap kriteria dengan cara membagi nilai total l,m,u pada tiap baris di tabel fuzzifikasi dengan nilai total u, l, m per kolom. Berikut persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai sintesis fuzzy :

$$Si = \sum_{j=1}^m M_i^j \times \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_i^j} \right] \quad (2)$$

- Membuat nilai vektor dan nilai ordinat defuzzifikasi

Setelah mengetahui nilai faktor defuzzifikasi pada setiap kriteria dan alternatif maka nilai bobot vektor akan diketahui. Untuk menentukan bobot vektor hal yang perlu dilakukan adalah dengan memilih nilai minimum dari faktor-faktor defuzzifikasi disetiap kriteria.

6. Normalisasi bobot vektor Fuzzy (W)

Cara untuk menormalisasi bobot vektor yaitu dengan membagi faktor defuzzifikasi dengan nilai total faktor-faktor defuzzifikasi. Berikut persamaan untuk bobot vektor fuzzy :

$$W' = (d'(A1), d'(A2), \dots, d'(An))^T \quad (3)$$

Dimana :

$A_i = 1, 2, \dots, n$ n adalah elemen keputusan

Sedangkan untuk normalisasi bobot vektor dapat dilihat pada persamaan berikut .

$$W = (d(A1), d(A2), \dots, d(An))^T \quad (4)$$

Dengan :

$$d(A_i) = \frac{d'(A1)}{d'(A1) + d'(A2) + \dots + d'(An)}$$

7. Perankingan Alternatif

Perankingan alternatif dapat diselesaikan dengan cara bobot vektor lokal dikali dengan nilai bobot vektor alternatif. Nilai tertinggi dari hasil perkalian tersebut menjadi hasil keputusan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

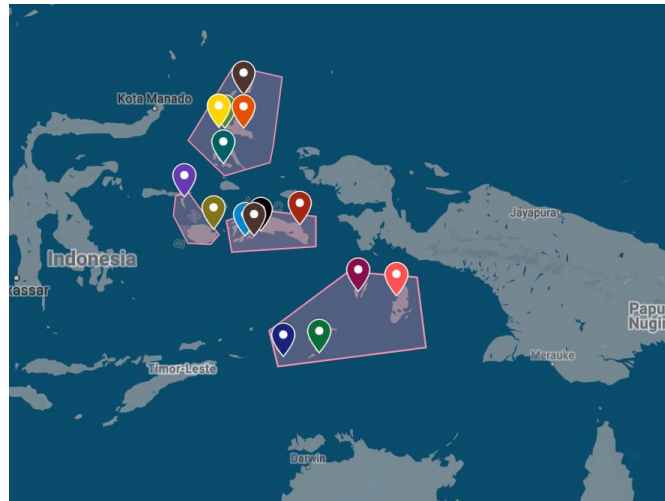
Hasil Penentuan Clustering dan Kapasitas Tanki Terminal LNG

Untuk mempermudah pendistribusian LNG di wilayah Maluku, setiap pembangkit akan dikelompokkan berdasarkan jarak. Pembangkit yang memiliki jarak yang tidak terlalu jauh akan dikelompokkan menjadi satu *cluster*. Terdapat 15 pembangkit di wilayah Maluku yang memerlukan LNG sebagai bahan bakar pembangkitnya. Untuk mengelompokkan pembangkit digunakan metode *K-Means Clustering*, metode ini mengelompokkan data pembangkit dengan karakteristik yang sama menjadi satu cluster. Sedangkan data dengan karakteristik yang berbeda akan dikelompokkan dengan *cluster* yang lain. Dengan menggunakan metode *K-Means Clustering*, pembangkit yang berada di wilayah Maluku dikelompokkan menjadi 4 *cluster* dan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Clustering Pembangkit

Cluster	Nama Terminal	Total Rute (Nm)	Demand Pembangkit (m ³ /day)
1	Halmahera	1208	1544
	Ternate-Tidore		
	Bacan		
	Morotai		
	Maba		
2	Tual	1263	657,14
	Saumlaki		
	Dobo		
	Masela		
3	Ambon	910	427,14
	Seram		
	Bula		
	Saparua		
4	Buru	442	296
	Sanana		

Berdasarkan hasil pengelompokkan 15 pembangkit yang tersebar di wilayah Maluku, terdapat 4 *cluster* untuk mempermudah pendistribusian LNG yang dapat dilihat pada Gambar 1. Kebutuhan gas terbesar terdapat pada *cluster* 1, dengan kebutuhan sebesar 1544 m³. *Cluster* 2 membutuhkan pasokan LNG sebesar 657,14 m³, *Cluster* 3 membutuhkan 427,14 m³ dan *cluster* 4 membutuhkan 296 m³.



Gambar 1. Hasil Clustering Pembangkit

Setiap *cluster* nantinya akan dilayani oleh satu kapal LNG, dengan mempertimbangkan total waktu bongkar muat di setiap terminal, estimasi waktu *maneuver*, estimasi waktu tempuh kapal berdasarkan jarak yang ditempuh dan *slack time* maka akan diketahui *round trip* kapal tersebut. Nilai *round trip* tersebut akan menjadi titik acuan dalam menentukan kapasitas tanki terminal penerima LNG.

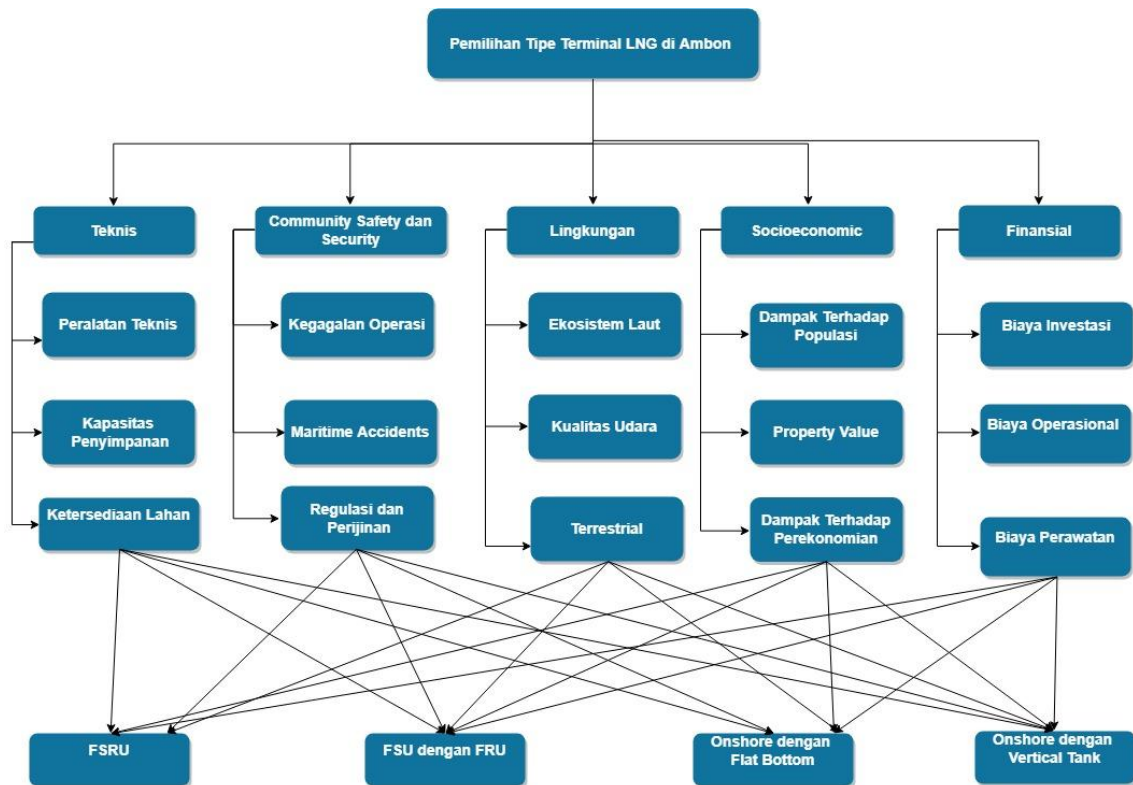
Tabel 3. Kebutuhan Gas Terminal LNG

Cluster	Total Round Trip (hari)	Demand terminal penerima (m ³)	Demand terminal hub (m ³)
Cluster 1	6	12354,28	24182,85
Cluster 2	7	5257,14	
Cluster 3	5	3417,14	
Cluster 4	3	2365,71	

Hasil Pemilihan Tipe Terminal Hub LNG

Dalam studi ini terdapat 5 kriteria dan 4 alternatif yang digunakan sebagai pertimbangan dalam memilih tipe terminal LNG. Lima kriteria tersebut adalah teknis, *community safety & security*, *socioeconomic*, dan finansial. Aspek teknis mencakup kesiapan teknologi dari masing – masing tipe terminal hub LNG yang akan dibangun di wilayah Ambon. Aspek *community safety* dan keamanan/ *security* menjelaskan skenario kecelakaan spesifik dan dampak potensial dari berbagai jenis kecelakaan. Setiap jenis fasilitas memiliki kekuatan dan kelemahan yang melekat yang berasal dari perbedaan desain, lokasi, dan operasional. Aspek lingkungan mencakup dampak – dampak yang ditimbulkan oleh pembangunan terminal LNG terhadap lingkungan sekitar. Aspek *socioeconomic* merupakan efek sosial ekonomi yang menguntungkan dan merugikan yang timbul akibat pembangunan terminal LNG di suatu wilayah. Sosial ekonomi merupakan kombinasi faktor sosial dan ekonomi. Aspek finansial merupakan besarnya biaya yang dibutuhkan untuk membangun sebuah terminal LNG. Aspek biaya mencakup biaya investasi, biaya operasional dan biaya perawatan. Alternatif tipe terminal yang ditawarkan dalam studi ini yaitu FSRU, FSU

dengan *floating* regasifikasi (FRU), *onshore* terminal dengan *flat bottom tank* dan *onshore* terminal dengan *vertical tank*. Struktur hirarki dapat dilihat pada Gambar 2.



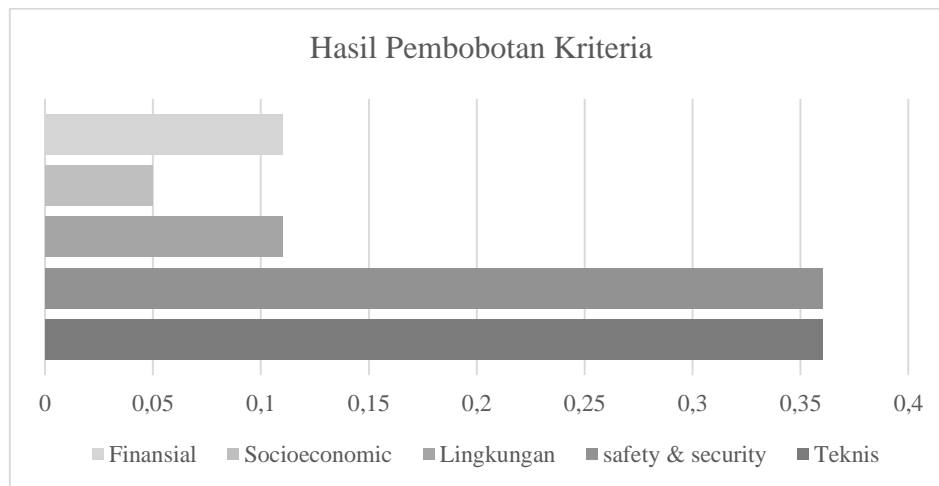
Gambar 2. Struktur Hirarki Pemilihan Tipe Terminal LNG

Setelah menentukan struktur hirarki selanjutnya masing – masing kriteria, sub kriteria dan alternatif dibandingkan secara berpasangan kemudian penilaian responden dari kuesioner yang disebar diuji konsistensinya. Batas ketidakkonsistensian ditetapkan dengan rasio konsistensi (CR). Nilai CR harus bernilai $\leq 0,1$, jika melebihi nilai 0,1 maka penilaian dari responden dianggap tidak konsisten. Berikut nilai konsistensi dari kriteria dan sub kriteria yang telah dihitung.

Tabel 4 Nilai Konsistensi Penilaian Responden

	Nilai Konsistensi	Sub Kriteria	Nilai Konsistensi
Kriteria	0,078	Teknis	0,01
		Community Safety & Security	0,056
		Lingkungan	0,01
		Socioeconomic	0,05
		Finansial	0,05

Dapat dilihat pada Tabel 4, nilai konsistensi pada kriteria dan sub kriteria memiliki nilai dibawah 0,1. Sehingga dapat dikatakan bahwa penilaian dari responden dianggap konsisten. Setelah menentukan nilai konsistensi, langkah selanjutnya yaitu mengubah nilai perbandingan berpasangan ke *triangular fuzzy number* pada tabel 1, kemudian menentukan sintesis *fuzzy*, membuat nilai vektor dan nilai ordinat defuzzifikasi. Langkah terakhir yaitu menormalisasi bobot *vector fuzzy*. Berikut hasil pembobotan kriteria, sub kriteria dan alternatif dengan metode Fuzzy AHP



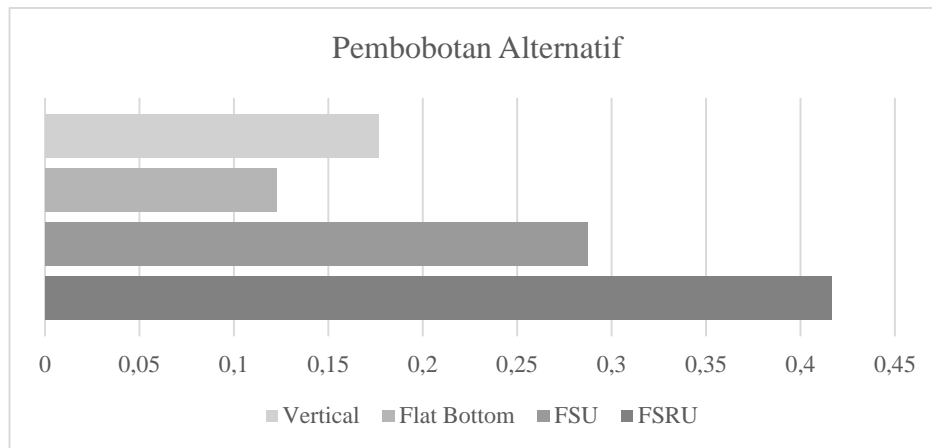
Gambar 3. Hasil Pembobotan Kriteria

Hasil dari pembobotan dengan menggunakan Fuzzy AHP, aspek teknis dan aspek *safety & security* dianggap lebih penting dari kedua aspek lainnya. Aspek teknis dan aspek *safety & security* memiliki bobot yang sama yaitu 0,36. Sedangkan aspek lingkungan dan finansial memiliki bobot sebesar 0,11 dan bobot terendah terdapat pada aspek *socioeconomic*. Pembobotan juga dilakukan pada masing – masing sub kriteria dan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pembobotan Sub Kriteria

Kriteria	Sub Kriteria	Bobot
Teknis	Peralatan teknis	0,38
	Kapasitas penyimpanan	0,33
	Ketersediaan Lahan	0,29
Community Safety & Security	Kegagalan Operasi	0,35
	Kecelakaan Laut	0,31
	Regulasi dan Perijinan	0,35
Lingkungan	Ekosistem Laut	0,4
	Kualitas udara	0,35
	Terrestrial	0,25
Socioeconomic	Dampak terhadap populasi	0,48
	Dampak terhadap Perekonomian	0,37
	<i>Property Value</i>	0,15
Finansial	Biaya Investasi	0,503
	Biaya Operasional	0,303
	Biaya Perawatan	0,194

Pembobotan alternatif dilakukan dengan cara yang sama yaitu dengan metode *Fuzzy AHP*, dengan mempertimbangkan 5 kriteria serta kapasitas tanki terminal hub sebesar 24182,85 m³ hasil pembobotan dapat dilihat pada Gambar 4. Dari keempat alternatif yang ditawarkan, FSRU memiliki nilai bobot tertinggi yaitu 0,41. Urutan kedua adalah FSU dengan bobot 0,28, urutan ketiga yaitu onshore terminal dengan vertical tank dengan bobot 0,17 dan urutan terakhir yaitu onshore terminal dengan flat bottom tank dengan bobot 0,12.



Gambar 4. Hasil Pembobotan Alternatif

KESIMPULAN

Dengan menggunakan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process*, tipe terminal yang terpilih dengan berdasarkan pertimbangan 5 kriteria yaitu teknis, *safety & security*, lingkungan, *socioeconomic* dan finansial serta pertimbangan kapasitas tanki sebesar 24182,85 m³. Kriteria teknis dan *safety & security* memiliki bobot tertinggi dengan nilai 0,36. Sedangkan aspek lingkungan dan finansial memiliki bobot sebesar 0,11 dan bobot terendah terdapat pada aspek *socioeconomic*

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Faisol, M. A. M. H. S., 2014. Komparasi Fuzzy AHP dengan AHP pada Sistem Pendukung Keputusan Investasi Properti. *Jurnal EECCIS*, 8(2).
- Artana, K. B., 2008. *Pengambilan Keputusan Kriteria Jamak (MCDM) untuk Pemilihan Lokasi Floating Storage and Regasification Unit (FSRU): Studi Kasus Suplai LNG dari Ladang Tanguh ke Bali*. s.l.:s.n.
- Dewangga, C., 2016. *OPTIMASI DISTRIBUSI LNG UNTUK PEMBANGKIT DI KEPULAUAN MALUKU*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dewi, Y. P., 2017. *Pemilihan Metode Pemotongan Kaki Jacket Pada Proses Pembongkaran (Decommissioning) : Studi Kasus Attaka H Platform Di Selat Makassar*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ESDM Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, 2015. *Rencana Strategis 2015-2019*. Jakarta: s.n.
- ESDM Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, 2018. *Neraca Gas Bumi Indonesia 2018-2027*, Jakarta: s.n.
- PT PLN (Persero), 2018. *Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2018-2027*. Jakarta: PT Perusahaan Listrik Negara (Persero).
- Puspitasari, D., 2009. *Penerapan Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process Dalam Penentuan Kriteria Penilaian Performa Vendor (Studi Kasus PT.X)*, Jakarta: Universitas Indonesia.
- Soegiono, Ketut Buda Artana. 2006. *Transportasi LNG Indonesia*. Surabaya: Airlangga University Press.