

PENGAMBILAN KEPUTUSAN KRITERIA JAMAK (MCDM) UNTUK PEMILIHAN LOKASI *FLOATING STORAGE AND REGASIFICATION UNIT (FSRU)*: STUDI KASUS SUPLAI LNG DARI LADANG TANGGUH KE BALI

Ketut Buda Artana

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus Keputih Sukolilo - Surabaya 60111
Email: ketutbuda@its.ac.id

ABSTRAK

Paper ini menyajikan pemilihan lokasi *Floating Storage and Regasification Unit (FSRU)* untuk proses distribusi LNG dari Ladang Tangguh ke Bali. FSRU merupakan alternatif pengganti LNG *receiving terminal* di darat. Pemilihan lokasi ini melibatkan kriteria kualitatif dan kuantitatif dan metode *Multiple Criteria Decision Making (MCDM)* digunakan untuk melakukan pemilihan mengingat metode ini dapat memberi solusi tepat saat *mutual conflict* terjadi pada beberapa kriteria pemilihan. Penilaian terhadap beberapa alternatif didasarkan atas nilai masing-masing kriteria yang diperoleh dari kuisioner terhadap beberapa *stakeholders*. Untuk kriteria kualitatif dicari *relative weight* dengan menggunakan metode Analitik Hierarki Proses (AHP). Nilai *relative weight* ini kemudian konversi menjadi *normalize relative weight*, *basic probability assignment* dan *total probability assignment* hingga kemudian diperoleh nilai *preference degree* dari kriteria kualitatif. Selanjutnya nilai *preference degree* kriteria kualitatif ini digabungkan dengan nilai *preference degree* dari kriteria kuantitatif dan merankingnya dengan metode *entropy*. Alternatif lokasi yang terpilih adalah alternatif dengan nilai *entropy* tertinggi. Melalui proses seleksi awal, empat alternatif menjadi kandidat lokasi. Alternatif tersebut adalah Benoa, Celukan Bawang, Pemaron dan Gilimanuk. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa alternatif lokasi yang paling sesuai untuk lokasi penambatan FSRU adalah Celukan Bawang.

Kata kunci: MCDM, AHP, kriteria kualitatif, kriteria kuantitatif.

ABSTRACT

This paper presents a case study in selecting the best location for a Floating Storage and Regasification Unit (FSRU) in Bali. FSRU is an alternative to replace a conventional shore LNG terminal. The selection involves several criteria/attributes that can be grouped into two general criteria, namely qualitative and quantitative criteria. Multiple Criteria Decision Making (MCDM) approach is utilized to solve the selection problem, considering the capability of this method in solving multi-criteria problem with mutual conflict. Qualitative criteria are evaluated using AHP method to calculate weight of each criterion. Moreover, decision matrix algorithm is then utilized to convert preference of stakeholders into, consecutively, probability assignment, total probability assignment and preference degree eventually. Quantitative criteria are also converted into preference degree and entropy method is used to rank the alternatives. Selected location would be the alternative having the highest entropy. Four alternatives are under consideration. Those alternatives are Benoa, Celukan Bawang, Pemaron and Gilimanuk. This research found that Celukan Bawang is the best location for the FSRU.

Keywords: FSRU, MCDM, AHP, Qualitative Criteria, Quantitative Criteria.

1. PENDAHULUAN

Salah satu tantangan dalam pengelolaan migas di Indonesia ke depan adalah pemenuhan terhadap meningkatnya kebutuhan domestik. Salah satu indikator peningkatan kebutuhan migas domestik adalah peningkatan kebutuhan daya listrik di seluruh Indonesia. Sebagai daerah pemakai energi listrik terbesar di Indonesia, Bali dan Jawa memiliki pertumbuhan kebutuhan listrik rata-rata per tahun sebesar 8,8% dimana hingga tahun 2010 diperkirakan kebutuhan listrik untuk kedua daerah ini mencapai 160000 GWh (Muchlis, 2003). Pada tahun ini, jumlah produksi listrik dengan menggunakan bahan bakar minyak adalah mencapai 36%, sementara itu produksi listrik dengan batu bara sebagai sumber energinya adalah 31% dan gas alam berada pada posisi terakhir sebesar 21%. Di samping itu pula, biaya energi per KWh dengan bahan bakar gas alam adalah Rp 210, yang masih relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak yaitu Rp 611. Sementara itu, sekalipun energi per KWh batu bara hanya Rp 132, akan tetapi gas alam lebih ramah terhadap lingkungan. Gambaran ini menunjukkan bahwa kebutuhan migas untuk pasar domestik khususnya LNG (*Liquefied Natural Gas*) sebagai sumber energi bagi pembangkit listrik dan industri lainnya akan secara signifikan meningkat pada tahun-tahun mendatang.

Bali sebagai salah satu daerah dengan tingkat kebutuhan listrik yang besar di Indonesia memiliki tiga pembangkit listrik utama milik PLN. Ketiga pembangkit tersebut adalah PLTG Gilimanuk di ujung barat pulau Bali dengan kapasitas 130 MW, PLTG dan PLTD Pesanggaran di Jimbaran Denpasar dengan kapasitas 162 MW serta PLTG Pemaron di Singaraja dengan kapasitas 80 MW. Di samping ketiga pembangkit listrik tersebut, Bali juga menerima suplai listrik lewat sistem *interkoneksi* Jawa-Bali dengan kapasitas 200 MW. Hingga saat ini ketiga pembangkit listrik di Bali tersebut masih menggunakan solar yang relatif lebih mahal jika dibandingkan dengan gas alam untuk per satuan unit energi. Jika dikonversi menjadi gas, maka ketiga pembangkit tersebut kurang lebih akan membutuhkan sekitar 74,4 MMSCFD (*million standard cubic feet per day*) atau setara dengan 0,5 MTPA (*million ton per annum*) atau setara dengan volume 10 *cargo standard LNG carrier* per Tahun. (LNG/JMG, 2005).

Penggunaan LNG *carrier* sebagai sarana transportasi gas alam cair hingga saat ini masih diakui sebagai salah satu alternatif moda transportasi yang paling efisien khususnya untuk rute menengah dan jauh. Namun demikian, pemakaian LNG *carrier* membutuhkan dukungan infrastruktur yang sedemikian besar dalam proses transportasinya, seperti terlihat pada Gambar 1. Infrastruktur tersebut adalah *liquefaction plant*, *loading terminal with storage tanks*, *receiving terminal with storage tanks*, serta *re-gasification plant* sebelum diterima oleh *end user* (BPMIGAS, 2004). Di Bali, kecil peluang untuk dapat dibangunnya *receiving terminal* mengingat terbatasnya wilayah yang ada serta pertimbangan dampak lingkungan yang ditimbulkan, terlebih lagi karena Bali sebagai daerah tujuan wisata alam dan budaya.



Gambar 1. LNG supply chain

Mengingat besarnya kebutuhan infrastruktur seperti diuraikan di atas, maka perlu dicari kemungkinan untuk memutus beberapa mata rantai LNG tersebut. Salah satu alternatifnya adalah dengan menggunakan *Floating Storage and Regasification Unit (FSRU)* (Clarkson, 2003; Kim, 2004). FSRU merupakan terminal semi permanen untuk menerima LNG yang terletak jauh dari pantai, sehingga memungkinkan untuk melakukan pemindahan LNG dari kapal LNG *carrier* dan dilengkapi dengan unit regasifikasi. Pemakaian FSRU tentunya akan menghilangkan kebutuhan akan fasilitas regasifikasi, menjadikan sistem suplai yang lebih fleksibel, mengurangi dampak lingkungan karena tidak lagi dibutuhkannya LNG terminal di darat, dan keunggulan mobilitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *conventional LNG supply-chain*.

Paper ini akan membahas cara mengaplikasikan *Multiple Criteria Decision Making (MCDM)* untuk menentukan lokasi FSRU yang terbaik dari 4 (empat) alternatif di Bali. MCDM dijadikan sebagai metode pemilihan mengingat kemampuan metode ini untuk mengatasi *mutual conflict* dari beberapa alternatif serta kemampuan metode ini dalam pengambilan keputusan atas satu pilihan jika proses pemilihan dilakukan oleh lebih dari satu orang pengambil keputusan (Artana, 2003; Jacquet, 1982; Jian, 1995; Sen, 1993; Sen, 1994).

2. MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING (MCDM)

Multiple Criteria Decision Making (MCDM) merupakan suatu metode pengambilan keputusan yang didasarkan atas teori-teori, proses-proses, dan metode analitik yang melibatkan ketidakpastian, dinamika, dan aspek kriteria jamak. Dalam metode optimasi konvensional, cakupan umumnya hanya dibatasi pada satu kriteria pemilihan (*mono criteria*), dimana pemilihan yang diambil adalah pilihan yang paling memenuhi fungsi obyektif. Namun, masalah yang dihadapi khususnya yang lebih bersifat praktis tidaklah sesederhana itu. Ada kalanya pertimbangan-pertimbangan subjektif harus dimasukkan ke dalam proses pembuatan keputusan. Kondisi ini menyebabkan pendekatan optimasi konvensional tidak lagi dapat dipergunakan.

MCDM dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok besar, yakni *Multiple Objective Decision Making (MODM)* dan *Multiple Attribute Decision Making (MADM)*. MADM menentukan alternatif terbaik dari sekumpulan alternatif (permasalahan pilihan) dengan menggunakan preferensi alternatif sebagai kriteria dalam pemilihan. MODM memakai pendekatan optimasi, sehingga untuk menyelesaikannya harus dicari terlebih dahulu model matematis dari persoalan yang akan dipecahkan.

Mengingat beberapa pertimbangan dalam pemilihan lokasi FSRU memiliki potensi konflik satu sama lain, serta diyakini bahwa tidak ada satu kriteria pun yang mendominasi kriteria lainnya, maka hal ini dapat dijadikan sebagai hipotesa awal bahwa MCDM dapat dijadikan sebagai metode dalam pemilihan lokasi tersebut (Jacquet, 1982; Sen, 1994; Jian, 1995). Sebagai contoh, peletakan FSRU sejauh mungkin dari kawasan perumahan akan menguntungkan dari aspek keselamatan, namun demikian akan merugikan jika dilihat dari segi besarnya investasi *pipeline* ke perumahan sebagai salah satu konsumen gas potensial. Di samping itu, MCDM memungkinkan pemilihan lokasi dilakukan oleh lebih dari satu aktor yang memiliki preferensi yang berbeda terhadap alternatif yang ada.

Dalam pendekatan MADM yang digunakan dalam paper ini, kriteria-kriteria dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu kriteria kuantitatif dan kriteria kualitatif. Kriteria kuantitatif itu sendiri secara umum dapat dibedakan atas 2 jenis kriteria yakni kriteria *cost* dan kriteria *benefit* (Sen dan Jian, 1994). Kriteria *benefit* adalah semua kriteria yang memberi efek menguntungkan dalam proses pemilihan. Sebagai contoh dalam pemilihan lokasi FSRU,

kedalaman air adalah contoh kriteria *benefit*, dimana semakin dalam perairan maka akan semakin memungkinkan kapal ukuran besar menyuplai LNG. Sebaliknya, kriteria *cost* adalah semua kriteria yang memberi efek merugikan/menimbulkan biaya dalam proses pemilihan. Untuk kasus yang sama gelombang adalah contoh dari kriteria *cost*, dimana semakin besar gelombang, maka semakin kompleks sistem penambatan kapal yang harus digunakan, yang berarti semakin besar investasi yang harus dikeluarkan.

Untuk semua kriteria *benefit* maka, *preference degree* dapat ditentukan dengan (Sen, 1994):

$$P_{rk} = \frac{2(V_{rk} - V_k^{\min})}{V_k^{\max} - V_k^{\min}} - 1 \quad (1)$$

Untuk semua kriteria *cost* maka, *preference degree* dapat ditentukan dengan (Sen, 1994):

$$P_{rk} = \frac{2(V_k^{\max} - V_{rk})}{V_k^{\max} - V_k^{\min}} - 1 \quad (2)$$

Dimana P_{rk} adalah *preference degree*, V_{rk} adalah nilai kriteria pada alternatif yang dihitung, V_k^{\min} adalah nilai kriteria minimum dari alternatif yang ada, V_k^{\max} adalah nilai kriteria maksimum dari alternatif yang ada, $r = 1, 2, \dots, n$ adalah jumlah alternatif serta k adalah jumlah kriteria kuantitatif.

Proses yang paling rumit dalam evaluasi MADM adalah proses konversi dari kriteria kualitatif menjadi *preference degree*. Proses konversi ini dapat dipermudah dengan menggunakan *evaluation grade*. Satu hal yang harus selalu diingat adalah bahwa *evaluation grade* ini harus digunakan secara konsisten diseluruh proses pemilihan. Pada penelitian ini *evaluation grade* yang akan dipergunakan adalah seperti pada tabel berikut.

Tabel 1. Evaluation grade

<i>Grade</i>	<i>Name</i>	<i>Value</i>
<i>Bottom grade</i>	<i>Poor, (P)</i>	-1,0
<i>B-M intermediate grade</i>	<i>Indifferent, (I)</i>	-0,4
<i>Middle grade</i>	<i>Average, (A)</i>	0,0
<i>M-T intermediate grade</i>	<i>Good, (G)</i>	0,4
<i>Top grade</i>	<i>Excellent, (E)</i>	1,0

Evaluation grade (EG) di atas dapat diekspresikan seperti di bawah ini:

$$EG = [Poor(EG_1), indifferent(EG_2), Average(EG_3), Good(EG_4), Excellent(EG_5)] \quad (3)$$

Persamaan (3) di atas dapat ditulis sebagai kumpulan *primary factor*, faktor dasar yang dapat diberikan penilaian kualitatif, dan dapat ditulis sebagai:

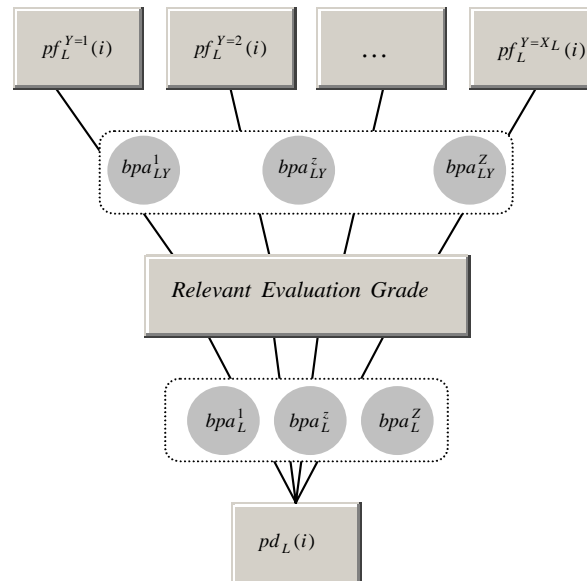
$$EG = \{EG_1, \dots, EG_z, \dots, EG_Z\} \quad (4)$$

yang berkorespondensi dengan

$$PF = \{pf_L^1 \cdots pf_L^y \cdots pf_L^Y\} \quad (5)$$

PF adalah kelompok *primary factor*, dimana $pf_L^{Y=1}(i)$ adalah *primary factor* ke- Y dari kriteria kualitatif ke- L untuk alternatif yang ke- i . Hirarki penilaian dari kriteria kualitatif dapat dilihat seperti pada Gambar 2. Masing-masing alternatif akan dievaluasi dengan *primary factor/attribute* yang sama. Penilaian ini akan menghasilkan *basic probability assignment* untuk masing-masing alternatif. Gabungan dari beberapa *basic probability assignment* untuk satu alternatif akan menghasilkan *total probability assignment* yang selanjutnya dapat dikonversi menjadi *preference degree*.

Penilaian terhadap satu kriteria kualitatif tidak harus dengan menggunakan satu *evaluation grade*. Sebagai contoh, jika aktor pemilihan memberikan penilaian terhadap satu alternatif dengan *Poor* (0,3) dan *Indifferent* (0,6), maka ini berarti bahwa aktor tersebut 30% yakin bahwa alternatif yang dinilai berdasarkan kriteria pemilihan yang dipilih memiliki kriteria *Poor* dan 60% yakin memiliki kriteria *Indifferent*. Ini membuktikan bahwa penilaian tidak harus dilakukan dengan 100% keyakinan.



Gambar 2. *First intermediate level hierarchy analysis* (Artana, 2003)

Persamaan $bpa_{LY}^z = bpa\left(\frac{EG_z}{pf_L(i)}\right)$ menunjukkan *basic probability assignment* dimana *primary factor* pf_L mendukung hipotesis bahwa pertimbangan Pd_L pada alternatif yang ke- i sesuai dengan *evaluation grade* EG_z . Nilai bpa_{LY}^z dapat dihitung dengan menggunakan *confidence degree* serta *relative weight* dari pf_L . Persamaan $bpa_L^z = bpa\left(\frac{EG_z}{PF_L(i)}\right)$ menunjukkan *overall probability assignment* dimana pertimbangan Pd pada alternatif ke- i sesuai dengan *evaluation grade* EG_z . Selanjutnya, bpa_L^z diperoleh dengan menggabungkan semua nilai dari bpa_{LY}^z .

Jika kita ekspresikan *confidence degree* terhadap *primary factor* pf_L pada alternatif ke- i yang dievaluasi dengan *evaluation grade* EG_z sebagai $CD_{LY}^z(i)$, maka evaluasi terhadap *uncertain subjective judgment* terhadap $pf_L(i)$ dapat diekspresikan sebagai:

$$S(pf_L^Y(i)) = \left\{ (CD_{LY}^z(i), EG_z), z=1, \dots, Z; \text{ dan } \sum_{z=1}^Z CD_{LY}^z(i) \leq 1 \right\} \quad (6)$$

Persamaan (6) di atas menunjukkan bahwa *primary factor* pf_L dari alternative ke- i dievaluasi terhadap EG_z dengan *confidence degree* $CD_{LY}^z(i)$, untuk $z=1, \dots, Z$. Nilai $s(pf_L^Y(i))$ sendiri selanjutnya dapat dihitung seperti berikut:

$$Pd_L(i) = \sum_{z=1}^Z CD_{LY}^z(i).EG_z \quad (7)$$

Untuk membandingkan *preference degree* dari kriteria kualitatif antara satu alternatif dan alternatif lainnya, maka konvensi yang diambil adalah

$$S(pf_L^Y(i)) \text{ lebih baik dari } S(pf_L^Y(i+1)) \text{ jika dan hanya jika } Pd_L(i) > Pd_L(i+1) \quad (8)$$

Jika $\omega_m = \{\omega_L^1, \dots, \omega_L^y, \dots, \omega_L^Y\}$ menunjukkan *normalize relative weight* dari *primary factor* pf_L saat mengevaluasi *preference degree* dari kriteria kualitatif Pd_L , dimana $0 \leq \omega_L \leq 1$, maka ω_L^y menunjukkan *relative weight* dari *primary factor* pf_L saat mengevaluasi Pd_L dan ω_L didefinisikan sebagai *uniform weight vector* seperti tertulis di bawah ini:

$$\omega_m = \{\omega_L^1, \dots, \omega_L^y, \dots, \omega_L^Y\}, \sum_y \omega_L^y = 1, 0 \leq \omega_L^y \leq 1 \quad (9)$$

Jika pf^I adalah *primary factor* yang paling menentukan/penting atau disebut dengan factor kunci (*key factor*) maka normalisasi dari *uniform weight vector* akan menjadi:

$$\omega_m = \frac{\omega_L^y}{pf^I}, \quad y = 1, \dots, Y \quad (10)$$

dan bpa_{LY}^z dapat dihitung dengan:

$$bpa_{LY}^z = \omega_L^y . CD_{LY}^z(i) \quad (11)$$

Dari penjelasan di atas maka jelas terlihat bahwa $\sum_{z=1}^Z bpa_{LY}^z \leq 1$. Jika rentang kepercayaan yang tidak terwakili (mengingat kepercayaan tidak harus bernilai 100%), diwakili sebagai $bpa_{LY}^{EG} = 1 - \sum_{z=1}^Z bpa_{LY}^z$, maka *basic probability assignment matrix* $M(Pd/PF_L)$ untuk menghitung $Pd(i)$ melalui $PF_L(i)$ dapat disusun dalam bentuk matrik keputusan (*decision matrix*) sebagai berikut:

$$M(Pd/PF_L) = \begin{pmatrix} bpa_{L1}^1 & \dots & bpa_{L1}^z & \dots & bpa_{L1}^Z & bpa_{L1}^{EG} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ bpa_{Ly}^1 & \dots & bpa_{Ly}^z & \dots & bpa_{Ly}^Z & bpa_{Ly}^{EG} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ bpa_{LY}^1 & \dots & bpa_{LY}^z & \dots & bpa_{LY}^Z & bpa_{LY}^{EG} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Pf_L^1(i) \\ \dots \\ Pf_L^y(i) \\ \dots \\ Pf_L^Y(i) \end{pmatrix} \quad (12)$$

Jika A dan B adalah *subset* dari EG dan $bpa(A / pf_L^{Y=X})$ serta $bpa(B / pf_L^{Y=X+1})$ adalah *basic probability assignment* untuk A dan B yang sesuai dengan $(pf_L^{Y=X})$ dan $(pf_L^{Y=X+1})$ maka untuk mendapatkan *combined probability assignment*, algoritma berikut dapat dipergunakan.

$$\{EG^Z\}: \quad bpa_{Comb}^z = K_{comb} (bpa_A^z . bpa_B^z + bpa_A^z . bpa_B^{EG} + bpa_B^z . bpa_A^{EG}) \quad (13)$$

$$\{EG^{EG}\}: \quad bpa_{Comb}^{EG} = K_{comb} . bpa_A^{EG} . bpa_B^{EG} \quad (14)$$

dimana:

$$K_{comb} = \left[1 - \sum_{\tau=1}^Z \sum_{\substack{Y=1 \\ Y \neq \tau}}^Z bpa_A^\tau . bpa_B^Y \right]^{-1} \quad (15)$$

Jika hirarki seperti terlihat pada Gambar 2 berulang (terdapat lebih dari satu level hirarki) maka *recursive algorithm* berikut dapat digunakan untuk menghitungnya.

$$\{EG^Z\}: \quad bpa_{(Comb+i)}^z = K_{(comb+i)} (bpa_{(i)}^z . bpa_{(i+1)}^z + bpa_{(i)}^z . bpa_{(i+1)}^{EG} + bpa_{(i+1)}^z . bpa_{(i)}^{EG}) \quad (16)$$

$$\{EG^{EG}\}: \quad bpa_{(Comb+i)}^{EG} = K_{(comb+i)} . bpa_{(i)}^{EG} . bpa_{(i+1)}^{EG} \quad (17)$$

dimana:

$$K_{(comb+i)} = \left[1 - \sum_{\tau=1}^Z \sum_{\substack{Y=1 \\ Y \neq \tau}}^Z bpa_{(i)}^\tau . bpa_{(i+1)}^Y \right]^{-1} \quad \text{dan } i = 1, \dots, Y-1 \quad (18)$$

Jika *preference degree* dari semua kriteria untuk semua alternatif telah diperoleh maka selanjutnya ranking dapat ditentukan dengan menggunakan metode *entropy* seperti berikut (Jian, 1995).

$$Entropy = - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{k=1}^m Y_k \ln(Y_k) \quad (19)$$

dimana, m : jumlah alternatif.

Y_k : nilai *preference degree* alternatif ke- k

Algoritma di atas dengan lebih detil telah diuraikan dan dikembangkan oleh penulis (Artana, 2003).

3. ALTERNATIF LOKASI FSRU

Mengingat FSRU ini akan dipergunakan untuk menyuplai gas alam ke pembangkit listrik, maka kriteria penerimaan awal untuk alternatif lokasi FSRU adalah perairan yang sedekat mungkin dengan ketiga pembangkit listrik di Bali. Tiga perairan terpilih sebagai alternatif lokasi yakni Perairan Benoa, Perairan Gilimanuk, dan Perairan Pamaron (Gambar 3). Perairan Celukan Bawang dijadikan sebagai alternatif lokasi tambahan dengan melihat keuntungan kondisi perairannya dibandingkan dengan perairan lainnya dari aspek kedalaman, arus, gelombang serta peruntukan daerah Celukan Bawang yang memang sebagai wilayah pengembangan industri.

Perairan Celukan Bawang juga berada diantara PLTG Gilimanuk dan PLTG Pemaron, sehingga memiliki peluang untuk menyuplai gas ke kedua PLTG tersebut melalui pipa.

3.1 Alternatif I: Perairan Benoa

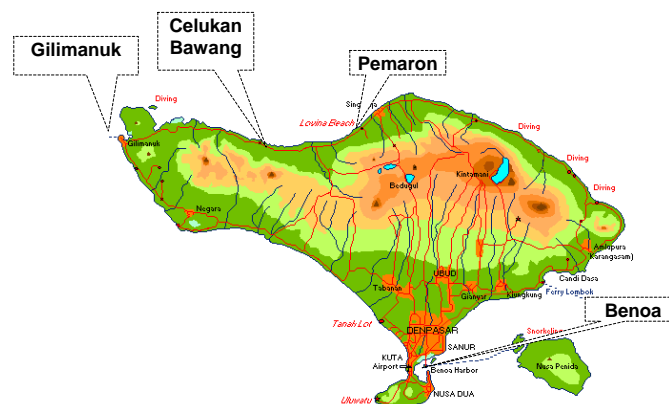
Alur pelayaran, khususnya alur menuju Pelabuhan Benoa atau daerah di sekitar PLTG Pesanggaran relatif sempit (hanya 150 m) sehingga akan sangat menyulitkan olah gerak *shuttle vessel* yang akan menyuplai LNG yang memiliki panjang sekitar 284 m. Alur pelayaran tersebut memiliki kedalaman maksimum hanya 10 m. Ini tentunya akan sangat tidak memungkinkan, mengingat sarat *shuttle vessel* pada kondisi muatan penuh adalah 11,9 m. Jika dilakukan pengerukan disekitar kolam pelabuhan, maka investasi yang dibutuhkan akan menjadi sangat besar serta menjadi tidak efisien mengingat tingkat sedimentasi yang besar di sekitar daerah pelabuhan terutama karena adanya proses reklamasi di sekitar Pulau Serangan yang bersebelahan lokasinya dengan Pelabuhan Benoa.

Radius 3-4 km di sekitar daerah Pelabuhan Benoa adalah merupakan sentra wisata di daerah Jimbaran. Hal ini tentunya akan sangat beresiko dan tidak memenuhi persyaratan teknis peletakan FSRU yang membutuhkan daerah bebas pada radius yang luas. Keberadaan beberapa industri lainnya seperti industri wisata perairan, perikanan, serta hutan bakau menjadi salah satu pertimbangan betapa sulitnya menjadikan daerah ini sebagai lokasi FSRU.

3.2 Alternatif II: Gilimanuk

Gilimanuk terletak di ujung barat Pulau Bali. Pelabuhan Gilimanuk merupakan pelabuhan penumpang dan barang dan pelabuhan utama untuk transportasi Jawa – Bali. Perairannya mempunyai kedalaman 19 m pada jarak 500 m dari garis pantai sehingga memungkinkan untuk dijadikan lokasi alternatif pemilihan FSRU.

Gilimanuk selama ini lebih dikenal sebagai pelabuhan penyeberangan yang menghubungkan Pulau Bali dan Pulau Jawa. Pada jarak sekitar 1 kilometer dari pelabuhan penyeberangan Gilimanuk, terdapat PLTG Gilimanuk yang selama ini dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar HSD (*High Speed Diesel*)/adiktif Solar. Bahan bakar ini dikirim dengan kapal dari Pelabuhan Tanjung Wangi-Ketapang dengan menggunakan tongkang yang ditarik oleh sebuah *tug boat*. Lokasi penambatan tongkang terletak pada jarak sekitar 500 m dari PLTG. Dari lokasi tambat, bahan bakar tersebut dialirkan menuju PLTG melalui pipa yang ditanam di tanah melewati jalan raya Pelabuhan Gilimanuk.



Gambar 3. Alternatif Lokasi FSRU

Sekalipun arus di Perairan Gilimanuk relatif kuat, namun diyakini bahwa dengan konstruksi fasilitas tambat dan sistem penabatan yang baik, maka faktor kekuatan arus ini dapat dikompensasi dari struktur *jetty* dan fasilitas penabatan lainnya.

Lokasi penabatan tongkang yang selama ini menyuplai bahan bakar ke PLTG Gilimanuk, dari pengamatan awal, diperkirakan dapat menjadi alternatif lokasi untuk penabatan FSRU. Secara ekonomis ini juga akan menguntungkan mengingat jarak lokasi penabatan dan PLTG yang hanya kurang lebih 500 m akan membuat investasi *pipeline* akan sangat kecil jika dibandingkan dengan alternatif lokasi yang lainnya.

3.3 Alternatif III: Pamaron

Pantai Pamaron terletak tidak jauh dari sentra wisata Lovina dan masih dalam kawasan wisata berdasarkan rencana tata ruang Kabupaten Buleleng. Keberadaan FSRU tentunya akan mempengaruhi persepsi masyarakat wisata setempat, sama halnya dengan penolakan yang terjadi saat PLTG Pamaron yang mulai dioperasikan kembali di tahun 2003.

Posisi FSRU jika dilokasikan di Pantai Pamaron tentunya akan mempengaruhi kenyamanan pemukiman masyarakat di sekitarnya, mengingat kepadatan penduduk di sekitar pembangkit saat ini, sekalipun jarak antara pembangkit dan pantai relatif dekat.

Meskipun Pantai Pamaron memiliki kondisi alam yang cocok untuk peletakan FSRU sepanjang musim, namun demikian kondisi dasar pantai yang landai tentunya akan menjadi kendala jika diletakkan sedekat mungkin dengan garis pantai.

3.4 Alternatif IV: Celukan Bawang

Tata ruang dan wilayah Celukan Bawang memang diperuntukkan untuk kawasan industri, sehingga resistensi masyarakat tentunya akan kecil dan besar kemungkinan dukungan Pemerintah Kabupaten Buleleng akan positif mengingat salah satu tujuan pembangunan di Buleleng adalah perbaikan iklim investasi.

Kondisi daerah di sekitar Pelabuhan/Perairan Celukan Bawang yang umumnya merupakan area perkebunan kelapa dengan tingkat kepadatan penduduk yang rendah akan lebih memungkinkan peletakan FSRU di sekitar Pantai Celukan Bawang.

Kondisi perairan yang tenang, arus yang lemah serta perubahan pasang surut yang rendah di sepanjang musim memungkinkan secara teknis FSRU untuk diletakkan di sini.

Kondisi kolam pelabuhan dan alur masuk menuju kolam pelabuhan/perairan di sekitarnya dengan kedalaman rata-rata sekitar 15 m memberi kemudahan akses *shuttle vessel* yang memiliki sarat 11,9 m. Pada jarak 500 m ke arah timur dari Pelabuhan Celukan Bawang kedalaman perairan masih sama dengan kedalaman perairan di kolam Pelabuhan Celukan Bawang.

4. PENENTUAN LOKASI FSRU

Beberapa persyaratan untuk *marine access* pembangunan LNG *receiving terminal* yang dapat melayani kapal LNG 125000 m³ adalah sebagai berikut (BADAK, 2001). Panjang kapal keseluruhan (*length over all*) 280 m, lebar (*breadth*) 42 m, sarat (*draught*) 11,7 m, alur keluar masuk (*access channel*) lebar 250-300 m, kedalaman air 13,5-14 m, diameter putar (*turning circle diameter*) 500-600 m, *operational limit at current speed* 1,0 knot; kolam tambat pada dermaga (*mooring basin at berth*) 400 x 60 x 13,5 m (*low waves effect*), haluan Kapal mengarah ke laut terbuka, *operational limits at significant waves height* 1,5 - 2,0 m; kecepatan angin

maksimum 20-25 knots, jumlah kapal tunda 3 atau 4, jumlah kapal kepil 1 atau 2, *navigational aids* (*radio, lights, radar*).

Melihat persyaratan di atas, dapat disimpulkan bahwa Pelabuhan Benoa gugur sebagai alternatif lokasi FSRU karena alur pelayaran, khususnya alur menuju Pelabuhan Benoa atau daerah di sekitar PLTG Pesanggaran relatif sempit (hanya 150 m) sehingga akan sangat menyulitkan olah gerak *shuttle vessel* yang akan menyuplai LNG yang memiliki panjang sekitar 284 m dan kedalaman alur hanya 10 m sedangkan sarat muatan penuh *shuttle vessel* adalah 11,9 m. Dengan demikian alternatif yang akan dikaji adalah Gilimanuk, Pemaron dan Celukan Bawang.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya beberapa pertimbangan dalam pemilihan alternatif lokasi FSRU dapat dikelompokkan menjadi:

1. *Technical.*

Merupakan pertimbangan teknis dalam pemilihan lokasi terminal penerimaan LNG lepas pantai. Kriteria yang termasuk dalam pertimbangan teknis adalah jarak dari terminal ke pembangkit, kedalaman air, pasang surut, arus, gelombang, dan angin.

2. *Community health and safety.*

Merupakan pertimbangan akibat pengaruh dari keberadaan FSRU pada keselamatan dan kesehatan manusia yang berada di sekitarnya. Faktor *Community health and safety issues* ini dapat diturunkan menjadi *basic factor* yaitu pemukiman, industri, *sea traffic* dan *explosive location*.

3. *Environmental.*

Merupakan pertimbangan pengaruh keberadaan FSRU pada lingkungan disekitarnya. Faktor *Environmental issues* ini dapat diturunkan menjadi beberapa *basic factor* yaitu *noise, air emission, dan waste water*.

Selanjutnya kriteria dibagi menjadi kriteria kualitatif dan kriteria kuantitatif. Kriteria kuantitatif terdiri dari 1) jarak ke pembangkit, 2) kedalaman air, 3) arus, 4) pasang surut, 5) gelombang dan 6) angin. Kriteria kualitatif dibagi menjadi dua level kriteria. Kriteria *community health and safety* diturunkan menjadi 4 sub-kriteria yaitu 1) pemukiman 2) industri, 3) *sea traffic* dan 4) *explosive location*. Kriteria kualitatif *environemnt* dibagi menjadi 3 sub-kriteria yaitu 1) *noise*, 2) *air emission* dan 3) *waste water*.

Berdasarkan survey yang dilakukan dan kuisisioner yang disebarakan maka didapatkan data kuantitatif seperti Tabel 2 dan data kualitatif seperti pada Tabel 3 di bawah ini. Alternatif 2 adalah Gilimanuk, Alternatif 3 adalah Pemaron dan Alternatif 4 adalah Celukan Bawang. *Code C* berarti *cost attribute* dan *B* berarti *benefit attribute*.

Tabel 2. Data kriteria kuantitatif

<i>Quantitative attribute</i>						
Simbol	Kriteria	Satuan	Simbol	Altr 2	Altr 3	Altr 4
y1	Jarak ke pembangkit	km	C	2	2	30
y2	Kedalaman air	m	B	19	8	20
y3	Pasang surut	m	C	1,5	1	1
y4	Arus	knot	C	3	1	1,5
y5	Gelombang	m	C	2	1	1
y6	Angin	knot	C	3	1	1,5

Dalam proses perhitungan MADM langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung bobot (*relative weight*) untuk setiap sub kriteria kualitatif. Pada paper ini perhitungan *relative weight* dilakukan dengan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 1988). Menggunakan data-data yang didapatkan melalui kuisioner, nilai-nilai numerik antar elemen dari setiap perbandingan berpasangan akan diproses dalam sebuah matriks perbandingan. Perbedaan bobot (*relative weight*) pada sub kriteria *community health and safety* dari masing-masing kelompok Masyarakat, PLN dan Pemda diperoleh dengan menggunakan metode tersebut. Bobot keseluruhan dari sub criteria *community health and safety* dan *environment* dapat dilihat pada Tabel 4.

Dalam penilaian kriteria kualitatif, selain data masukan dari *relative weight*, juga dibutuhkan data yang diperoleh dari responden berupa *confidence degree* untuk tiap-tiap alternative yang dibagi ke dalam lima *grade*, yaitu *poor* (P), *indifferent* (I), *average* (A), *good* (G), dan *excellent* (E), seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Confidence degree menurut masing-masing aktor

Simbol	Kriteria	Primary fac.	Masyarakat			PLN			Pemda		
			Altr 2	Altr 3	Altr 4	Altr 2	Altr 3	Altr 4	Altr 2	Altr 3	Altr 4
y7	Community health-safety	Pemukiman	G/1	P/1	G/1	E/1	G/1	E/1	E/1	E/1	E/1
		Sea traffic	P/1	G/1	I/1	A/1	E/1	E/1	E/1	E/1	E/1
		Industri	A/1	G/1	G/1	G/1	P/1	G/1	E/1	E/1	E/1
		Explosive Loc.	I/1	I/1	P/1	G/1	I/1	E/1	E/1	E/1	E/1
y8	Environment	Waste water	P/1	P/1	I/1	G/1	A/1	E/1	G/1	G/1	E/1
		Air emission	A/1	A/1	I/1	G/1	A/1	E/1	G/1	G/1	E/1
		Noise	G/1	A/1	I/1	G/1	A/1	E/1	G/1	G/1	E/1

Tabel 4. Relative weight kriteria community health & safety dan environment dari seluruh decision maker.

Kriteria Sub-kriteria	Community health & safety			Kriteria Sub-kriteria	Environment		
	Masyarakat	PLN	Pemda		Masyarakat	PLN	Pemda
Pemukiman	0,631	0,644	0,674	Waste water	0,794	0,794	0,767
Sea traffic	0,210	0,152	0,082	Air emission	0,139	0,067	0,174
Industri	0,101	0,153	0,203	Noise	0,067	0,139	0,059
Explosive loc.	0,058	0,050	0,041				

Setelah didapatkan bobot (*relative weight*) dari setiap *decision maker* maka langkah berikutnya adalah menghitung *normalize relative weight* dengan menggunakan persamaan (10). Hasil perhitungan *Normalize relative weight* oleh ketiga aktor (masyarakat, PLN, Pemda) terlihat pada Table 5.

Tabel 5. Normalize relative weight menurut masing-masing aktor

Simbol	Kriteria	Faktor	Simbol	Masyarakat		PLN		Pemda	
				Rel. weight	Normalize	Rel. weight	Normalize	Rel. weight	Normalize
y7	Community health-safety	Pemukiman	e1.7	0,631	0,90	0,644	0,90	0,674	0,90
		Sea traffic	e2.7	0,210	0,30	0,152	0,21	0,082	0,21
		Industri	e3.7	0,101	0,14	0,153	0,21	0,203	0,21
		Explosive loc	e4.7	0,058	0,08	0,050	0,07	0,041	0,07
y8	Environment	Waste water	e1.8	0,79	0,90	0,794	0,90	0,767	0,90
		Air emission	e2.8	0,14	0,16	0,067	0,08	0,174	0,08
		Noise	e3.8	0,07	0,08	0,139	0,16	0,059	0,16

Langkah berikutnya adalah menghitung *basic probability assignment* dengan cara mengalikan *confidence degree* dengan bobot (*relative weight*) yang telah dihitung sebelumnya, dimana Gilimanuk sebagai alternatif pertama, Pamaran sebagai alternatif kedua dan Celukan Bawang sebagai alternatif ketiga. Jika *basic probability assignment* sudah diperoleh, maka selanjutnya kita dapat menghitung *total probability assignment* (TPA) dengan menggunakan persamaan (11) seperti hasilnya terlihat pada Tabel 6.

Hasil perhitungan *total probability assignment* yang didapat digunakan untuk menghitung *preference degree* dari masing-masing kriteria kualitatif tersebut dengan cara mengalikan masing-masing nilai di atas dengan skala yang telah ditetapkan sebelumnya (Tabel 1), sehingga didapat hasil seperti pada Tabel 7.

Nilai *preference degree* untuk kriteria kuantitatif seperti terlihat pada Tabel 8 didapat dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) serta memasukkan nilai-nilai kuantitatif seperti terlihat pada Tabel 2. Sebagai contoh, pada kriteria y2, V_j^{min} adalah nilai yang dimiliki oleh alternatif 3 dan V_j^{max} adalah nilai yang dimiliki oleh alternatif 4.

Tabel 6. TPA menurut masing-masing aktor

Ringkasan	TPA	Masyarakat			PLN			Pemda		
		Altr 2	Altr 3	Altr 4	Altr 2	Altr 3	Altr 4	Altr 2	Altr 3	Altr 4
y7	P	0,09	0,65	0,09	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
	I	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	A	0,05	0,00	0,05	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	G	0,77	0,27	0,77	0,10	0,74	0,05	0,00	0,00	0,00
	E	0,00	0,00	0,00	0,73	0,09	0,91	0,97	0,97	0,97
	H	0,09	0,07	0,09	0,08	0,08	0,04	0,03	0,03	0,03
y8	P	0,86	0,85	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	I	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	A	0,04	0,05	0,04	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00
	G	0,01	0,00	0,01	0,93	0,00	0,00	0,93	0,93	0,00
	E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,93
	H	0,10	0,09	0,10	0,09	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07

Tabel 7. Preference degree menurut masing-masing aktor (evaluation matrix)

Kriteria	Preference degree untuk kriteria kualitatif								
	Masyarakat			PLN			Pemda		
	Altr 2	Altr 3	Altr 4	Altr 2	Altr 3	Altr 4	Altr 2	Altr 3	Altr 4
Attribute Y7	0,13	-0,55	0,29	0,77	0,29	0,93	0,97	0,97	0,97
Attribute Y8	-0,85	-0,85	-0,37	0,37	0,00	0,93	0,37	0,37	0,93

Tabel 8. Preference degree kriteria kuantitatif (evaluation matrix)

<i>Preference degree untuk kriteria kuantitatif</i>				
Simbol	Attribute name	Altr 2	Altr 3	Altr 4
y1	Jarak ke pembangkit	1	1	-1
y2	Kedalaman air	0,83	-1	1
y3	Pasang surut	-1	1	1
y4	Arus	-1	1	0,5
y5	Gelombang	-1	1	1
y6	Angin	-1	1	0,5

Jika nilai *preference degree* dari semua kriteria kualitatif dan kriteria kuantitatif diperoleh, perankingan terhadap alternatif yang ada dapat dilakukan dengan menggunakan metode *entropy* seperti pada persamaan (19). Alternatif dengan nilai *entropy* tertinggi adalah alternatif yang terpilih sebagai lokasi FSRU. Mengingat ada 3 aktor dalam pemilihan ini, maka Tabel 9 menyajikan hasil nilai *entropy* dari masing-masing aktor yang melakukan penilaian.

Tabel 9. Ranking menurut masing-masing aktor

Ranking	Masyarakat			PLN			Pemd		
Alternatif	Altr 2	Altr 3	Altr 4	Altr 2	Altr 3	Altr 4	Altr 2	Altr 3	Altr 4
Entropy	0,25	-0,43	0,63	0,654	0,327	0,756	0,503	0,364	0,717

Untuk mengetahui ranking dari seluruh *decision maker* maka dihitung nilai *entropy* rata-rata dengan cara menjumlahkan nilai *entropy* pada tiap-tiap alternatif kemudian membaginya dengan jumlah kelompok *decision maker*. Hasil total ranking dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Ranking total

Ranking total			
Alternatif	Altr 2	Altr 3	Altr 4
Entropy	0,469	0,087	0,701

Terlihat dari hasil perhitungan di atas bahwa alternatif 4 (Celukan Bawang) yang akan terpilih sebagai lokasi FSRU yang terbaik karena memiliki nilai *entropy* yang paling tinggi dibandingkan dengan alternatif lainnya, dengan nilai *entropy* adalah 0,701. Di samping itu ada beberapa hal yang mendukung Pelabuhan Celukan Bawang sebagai alternatif lokasi FSRU yang terbaik, yaitu:

1. Tata ruang dan wilayah Celukan Bawang memang diperuntukkan untuk kawasan industri, sehingga resistensi masyarakat tentunya akan kecil dan besar kemungkinan dukungan Pemerintah Kabupaten Buleleng akan positif mengingat salah satu tujuan pembangunan di Buleleng adalah perbaikan iklim investasi di daerahnya.
2. Kondisi daerah di sekitar Pelabuhan/Perairan Celukan Bawang yang umumnya merupakan area perkebunan kelapa dengan tingkat kepadatan penduduk yang rendah akan lebih memungkinkan peletakan FSRU di sekitar Pantai Celukan Bawang.
3. Kondisi perairan yang tenang, arus yang kecil serta perubahan pasang surut yang rendah di sepanjang musim memungkinkan secara teknis FSRU untuk diletakkan di sini.

4. Kondisi kolam pelabuhan dan alur masuk menuju kolam pelabuhan/perairan disekitarnya dengan kedalaman rata-rata sekitar 15 m memberi kemudahan akses *shuttle vessel* yang memiliki kedalaman sebesar 11,9 m.

5. VERIFIKASI PERHITUNGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE

Untuk memvalidasi hasil perhitungan manual yang telah dilakukan maka dibandingkan dengan hasil perhitungan software MADM (Artana, 2003) yang ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic, seperti terlihat pada Gambar 4.

The screenshot shows the MADM Program interface with the following data:

PREFERENCE DEGREE

Attributes	Pelabuhan Celukan Bawang	Pelabuhan Gilimanuk	Pelabuhan Pemaron
Jarak ke pabean	-1.0000000000	1.0000000000	1.0000000000
Kedalaman air	1.0000000000	0.8333333333	-1.0000000000
Arus	0.5000000000	-1.0000000000	1.0000000000
Pasang sandi	1.0000000000	-1.0000000000	1.0000000000
Gelombang	1.0000000000	-1.0000000000	1.0000000000
Angin	0.5000000000	-1.0000000000	1.0000000000

RANKING

Alternative Name	Entropy
Pelabuhan Pemaron	0.2540737771
Pelabuhan Gilimanuk	-0.4282393293
Pelabuhan Celukan Bawang	0.638412009

Gambar 4. Preference degree dan ranking dari masyarakat (Artana, 2003)

Setelah memasukkan nilai tiap-tiap kriteria pada masing-masing alternatif maka dapat dihitung nilai *preference degree* dan ranking pada tiap-tiap alternatif. Pada pemilihan lokasi FSRU oleh PLN didapatkan nilai ranking tertinggi pada alternatif ketiga yaitu Pelabuhan Celukan Bawang dengan nilai sebesar 0,754. Sedangkan ranking kedua oleh Pelabuhan Gilimanuk dengan nilai sebesar 0,654 dan ranking terakhir oleh Pelabuhan Pemaron dengan nilai sebesar 0,327.

Hasil perhitungan manual apabila dibandingkan dengan hitungan menggunakan software terdapat perbedaan angka sekitar 0,002. Perbedaan ini didapatkan karena perbedaan pembulatan nilai desimal perhitungan antara dua metode di atas.

6. KESIMPULAN

Dari pembahasan pada paper ini dapat disimpulkan bahwa penentuan lokasi tambat untuk FSRU merupakan sebuah proses pengambilan keputusan yang melibatkan banyak kriteria, dan MCDM mampu menyelesaikan *mutual conflict* diantara kriteria dalam proses pengambilan keputusannya.

Perairan Benoa secara teknis tidak memiliki kemampuan untuk menerima *shuttle vessel* karena beberapa keterbatasan kondisi geografis, karena itu diawal pemilihan sudah dapat dieliminasi. Dari 3 alternatif lokasi lainnya, Perairan Gilimanuk, Pemaron dan Celukan Bawang,

didapat bahwa Celukan Bawang merupakan lokasi terbaik untuk penambatan FSRU, hal ini ditunjukkan dengan nilai *entropy* tertinggi dibandingkan dengan alternatif-alternatif lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Artana, K.B., 2003. *A Research on Marine Machinery Selection Using Hybrid Method of Generalized Reduced Gradient and Decision Matrix*, Dissertation, Kobe University of Mercantile Marine, Japan.
- Badan Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas-BPMIGAS, 2004. *Indonesian Liquefied Natural Gas*, Badan Pengelola Hulu Minyak dan Gas, Jakarta.
- Clarkson, R.S., 2003. "LNG Shipping Solutions." *LNG Trade and Transport Meeting*, Norway.
- Jacquet, L.E., and Siskos, J., 1982. "Assessing a Set of Additive Utility Functions for Multiple Criteria Decision Making: The UTA Method." *European Journal of Operation Research*, Vol. 10, p.151-164.
- Jian, B.Y., 1995. "Multiple Criteria Decision Making in Design Selection and Synthesis." *Journal of Engineering Design*, Vol. 6, No. 3, p. 207-229.
- Kim, K.K., Lee, J.I., and Jeong, K.J., 2004. "Thermal Behaviour and BOR Calculation of Membrane Type LNG Carrier under the Standard and Real Voyage Condition." *Proceedings of the 6th Meeting of International Association of Maritime University (IAMU)*, Maritime Sciences College - Korean Maritime University.
- LNG/Join Management Group (JMG), 2005. *Supplemental Data & Information Part III*.
- Muchlis, M., dan Permana, A.D., 2003. "Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 sampai dengan 2020." *Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang*, Jakarta
- BADAK, PT NGL, 2001. "Shore Specification." *Forum ASEAN LNG Compatibility*, Bontang.
- Saaty, T.L, 1988. *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York.
- Sen, P., 1994. "A General Multi-Level Evaluation Process for Hybrid MADM." *IEEE Transaction*, Vol. 24, No. 10, p. 688-695.
- Sen, P., and Jian, B.Y., 1993. "A Multiple Criteria Decision Support Environment for Engineering Design." *International Conference on Engineering Design ICED*, The Hague.