

SELEKSI KONTRAKTOR KONSTRUKSI DENGAN FUZZY SET

Peter F Kaming¹, AY. Harijanto Setiawan.¹, Paskalis Rodianto Parta²

¹Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

²Alumni Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

ABSTRAK

Studi ini bertujuan untuk memaparkan sebuah contoh pemilihan kontraktor dalam proses tender proyek. Bobot performa dan ranking masing-masing kontraktor yang mengajukan penawaran diharapkan menjadi pertimbangan panitia lelang sebagai pembuat keputusan untuk menentukan kontraktor terbaik untuk mengerjakan proyek. Studi ini diimplementasikan pada sebuah pelelangan Proyek X. Kontraktor yang memasukkan penawaran pada pelelangan ini ada lima. Berdasarkan hasil perhitungan data, diperoleh skor akhir bagi performa masing-masing kontraktor pada keseluruhan kriteria yang digunakan untuk pengambilan keputusan oleh panitia lelang. Dengan demikian kontraktor yang memenangkan Pelelangan Proyek X, dengan mengaplikasikan *fuzzy set theory* sebagai pendekatan adalah Kontraktor dengan bobot performa yang paling tinggi.

Kata kunci: fuzzy set, pelelangan, proyek konstruksi, kontraktor.

A. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Seleksi kontraktor adalah sebuah proses memilih kontraktor yang paling tepat untuk melaksanakan proyek yang telah ditentukan sehingga menghasilkan nilai optimal atas biaya yang dikeluarkan (Singh dan Tiong : 2005). Proses seleksi ini merupakan proses yang kompleks karena melibatkan multi kriteria, yang digunakan untuk menilai atau mengukur kapabilitas multi kontraktor penawar dan dilakukan oleh multi pembuat keputusan (*decision maker*). Sonmez (2002) berpendapat bahwa pada kenyataannya pengambilan keputusan pada proses seleksi kontraktor dibuat dalam situasi *vagueness* yakni suatu situasi yang ditandai dengan kehadiran berbagai informasi yang tidak pasti, tidak tepat, tidak jelas, tidak sempurna atau informasi kualitatif yang sangat sulit bagi kita untuk mengukurnya. Dalam situasi seperti ini, seorang pembuat keputusan yang bertugas menilai kapabilitas para kontraktor penawar, akan sangat sulit memberi nilai numerik yang tepat yang mewakili persepsinya (Li, Nie dan Chen: 2007). Ia akan merasa lebih mudah mengekspresikan penilaiannya dalam term-term linguistik seperti “baik”, “buruk” atau “cukup”. Persoalan ini semakin rumit mengingat bahwa subjektivitas penilaian para pembuat keputusan memegang peran penting di dalamnya.

Kompleksitas persoalan pada proses seleksi kontraktor menginspirasi para praktisi konstruksi untuk mendesain pendekatan atau metode yang tepat sebagai solusi. Sebuah pendekatan yang paling cocok dan tepat untuk mengevaluasi pelalangan pun dikembangkan, yakni pendekatan yang mengaplikasikan *fuzzy set theory*. Ada dua alasan aubstansial yang menjadikan metode ini sebagai metode yang cocok dan tepat untuk mengevaluasi tender, yakni: (1) pendekatan ini mengakomodasi secara baik penggunaan skala bahasa oleh pembuat keputusan dalam evaluasi tender. Dengan demikian *decision maker* tidak diharuskan untuk memberi nilai numerik dalam menilai kualifikasi kontraktor penawar. (2) Pendekatan ini mampu menjadi solusi atas

persoalan multi pembuat keputusan, multi kriteria dan multi kontraktor penawar pada proses evaluasi tender.

Masalah

Masalah yang akan diteliti dalam studi ini adalah (1) berapa bobot performa kontraktor yang mengajukan penawaran pada Pelelangan Proyek X dengan mengaplikasikan *fuzzy set theory* sebagai pendekatan, dan (2) bagaimana rangking masing-masing kontraktor yang memasukan penawaran pada pelelangan tersebut?

B. LANDASAN TEORI

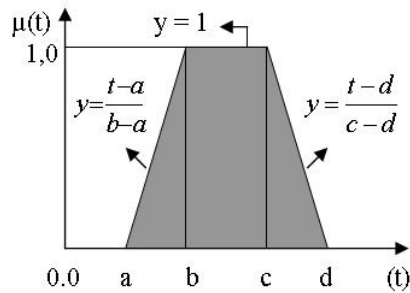
Fuzzy Set Theory

Beberapa aspek dalam kehidupan nyata sering kali berada di luar model matematis atau bersifat *inexact*. Ketidakpastian inilah yang menjadi titik tolak pengembangan *Fuzzy set Theory*. Zadeh (1965) mengatakan bahwa *Fuzzy set theory* pada dasarnya dikembangkan untuk mengekspresikan ketidakpastian yang bukan merupakan angka-angka statistik. *Fuzzy set theory* berbeda dengan himpunan *crisp* konvensional yang secara jelas membedakan sebuah objek atau elemen dalam kategori anggota dan bukan anggota suatu himpunan. Dalam *fuzzy set theory*, suatu elemen digambarkan dalam sebuah cara yang memungkinkan adanya transisi sedikit demi sedikit (*gradual transition*) dari menjadi anggota ke bukan anggota himpunan. Setiap elemen mengandung sebuah derajat keanggotaan yang berkisar antara nol (0) sampai dengan satu (1); di mana nol menggambarkan “bukan anggota”, sedangkan satu menggambarkan “keanggotaan penuh”, dan nilai di antara nol dan satu menggambarkan “keanggotaan sebagian”.

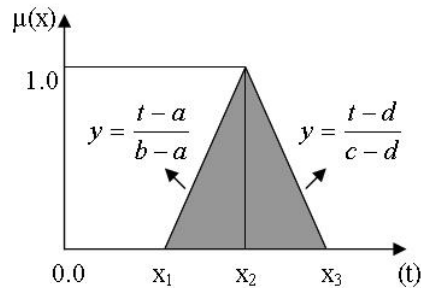
Sebuah *fuzzy set* A didefinisikan sebagai sebuah himpunan berpasangan $[t, \mu_A(t)]$, di mana t adalah sebuah objek atau elemen dalam sebuah himpunan besar, dan $\mu_A(t)$ adalah derajat keanggotaan elemen t . Dalam situasi t adalah sebuah variabel kontinyu, derajat keanggotaan dapat digambarkan oleh sebuah fungsi yang biasanya dikenal sebagai fungsi keanggotaan (*membership function*). Fungsi keanggotaan memiliki berbagai bentuk. Salah satu bentuk yang paling banyak dipakai adalah *fuzzy numbers* (Kaufmann dan Gupta 1988).

Fuzzy Number

Secara teoritis *fuzzy number* memiliki bentuk yang bervariasi. Bagaimanapun, dalam memodelkan persoalan kehidupan nyata, *trapezoidal* dan *triangular fuzzy number* paling sering digunakan (Chen dan Hwang 1992). Sebuah *trapezoidal fuzzy number* (TFN) dapat digambarkan oleh sebuah quadruple (a,b,c,d) , di mana a adalah batas bawah, d adalah batas atas, b dan c adalah nilai modal bawah dan atas dan t adalah sebuah elemen antara a dan d . Sebuah *triangular fuzzy number* merupakan kasus khusus pada TFN di mana nilai $b=c$. Fungsi keanggotaan TFN dan *Triangular* dapat ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 1 Representasi Grafis Fungsi Keanggotaan *Trapezoidal* (Singh dan Tiong: 2005)



Gambar 2 Representasi Grafis Fungsi Keanggotaan *Triangular* (Singh dan Tiong: 2005)

Proses Seleksi Kontraktor

Soeharto (1995) menjelaskan bahwa proses pemilihan kontraktor adalah rangkaian kegiatan mulai dari mengidentifikasi keperluan jasa kontraktor oleh pemilik, mempersiapkan paket lelang, melakukan lelang, sampai tanda tangan kontrak untuk menangani implementasi fisik proyek. Ada pun yang dimaksud pelelangan adalah rangkaian kegiatan untuk menyediakan barang atau jasa dengan cara menciptakan persaingan yang sehat di antara penyedia barang atau jasa yang setara dan memenuhi syarat, berdasarkan metode dan tata cara tertentu yang telah ditetapkan dan diikuti oleh pihak-pihak yang terkait secara taat azas sehingga terpilih penyedia terbaik (Ervianto: 2005).

C. METODOLOGI

Singh dan Tiong (2005) menjelaskan bahwa sebuah kerangka kerja keputusan *fuzzy* (*fuzzy decision framework*) umumnya mencakup langkah-langkah berikut: (1) Menetapkan dan menspesifikasi tipe *fuzzy number* dan fungsi keanggotaannya; (2) membuat skala preferensi; (3) Memberi nilai *fuzzy* terhadap alternatif kontraktor berdasarkan performa mereka pada kriteria yang digunakan; (4) Menjumlahkan *fuzzy number* hasil penilaian para pembuat keputusan; (5) Defuzzifikasi; (6) Penentuan “*global importance*” setiap kriteria keputusan; (7) Perhitungan total skor dan penentuan ranking kontraktor.

Untuk memberi pemahaman yang lebih terperinci, penulis membagi kerangka kerja pengambilan keputusan *Fuzzy* ke dalam empat bagian utama, yakni: pengumpulan data, input, proses dan output seperti yang dijelaskan berikut ini.

Pengumpulan data

Data yang dianalisis dalam studi ini diperoleh dari Pelelangan Proyek X. Data ini diperoleh dengan cara menyerahkan kuisisioner kepada panitia lelang sebagai pembuat keputusan untuk diisi. Pada Pelelangan ini, panitia lelang (responden) berjumlah 4 orang dan masing-masing responden diberi pertanyaan yang sama seperti yang tercantum pada halaman lampiran.

Penyerahan kuisisioner kepada responden dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama berisi penilaian preferensi kriteria dan penilaian performa kontraktor pada kriteria tertentu. Tahap kedua berisi penilaian bobot kombinasi kriteria. Penyerahan bertahap dilakukan karena penilain bobot kombinasi kriteria sangat bergantung pada hasil perhitungan penilaian preferensi kriteria, yakni perolehan bobot individual masing-masing kriteria. Setelah data penilaian preferensi kriteria dianalisis dan mendapatkan bobot individual kriteria $[w(C)]$, kuisisioner bobot kombinasi kriteria baru dapat disebarkan kepada responden. Shapely dalam Singh dan Tiong (2005) mengatakan: "the weight assigned to the combination of any two criteria must be at least equal to the sum of their individual weight assigned separately". Shapely menulis rumus untuk pernyataannya tersebut sebagai berikut:

$$w(C1,C2) \geq w(C1) + w(C2) \dots\dots\dots (1)$$

Di mana $w(C1,C2)$ = bobot untuk kombinasi kriteria C1 dan kriteria C2; $w(C1)$ bobot individual kriteria C1; $w(C2)$ = bobot individual kriteria C2.

Input

Data yang dianalisis dalam studi ini adalah: (1) bobot preferensi kriteria. Bobot preferensi kriteria merupakan hasil penilaian subjektif para pembuat keputusan tentang seberapa penting sebuah kriteria bagi diri mereka masing-masing dalam proses pengambilan keputusan. Penilaian mereka keluar dalam bentuk skala linguistik. (2) Bobot performa kontraktor pada kriteria tertentu. Bobot performa juga merupakan penilaian subjektif pembuat keputusan tentang kualifikasi kontraktor penawar pada kriteria tertentu yang digunakan sebagai ukuran. Hasil penilaian mereka juga keluar dalam bentuk variabel bahasa. (3) Bobot kombinasi kriteria. Bobot kombinasi kriteria merupakan sebuah angka numeris yang diberikan pembuat keputusan yang dalam perspektif subjektifnya bobot tersebut merepresentasikan pentingnya kombinasi yang bersangkutan. Penilaian bobot kombinasi ini keluar dalam bentuk angka numeris (*crisp*).

Proses

Proses pengambilan keputusan yang menggunakan *fuzzy set theory* sebagai pendekatan tidak hanya persoalan menganalisis data. Selain analisis data, proses itu sendiri dimulai dari penentuan *fuzzy number*, penentuan skala preferensi dan penentuan kriteria yang dipakai.

Menentukan tipe *fuzzy number* dan fungsi keanggotaannya

Fuzzy number memiliki banyak tipe. Tipe yang paling umum digunakan adalah *trapezoidal fuzzy numbers* dan *triangular fuzzy numbers*. Dalam studi ini, tipe *fuzzy number* yang digunakan adalah *trapezoidal fuzzy numbers*. Ada pun fungsi

keanggotaan sebuah elemen *trapezoidal fuzzy number* menggambarkan derajat atau tingkat keanggotaan elemen tersebut terhadap sebuah himpunan. Misalkan a_i sebuah *fuzzy number* dimana $a_i \in R$ (himpunan bilangan riil) dan dipertimbangkan sebagai:

$$A_i = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}, \text{ untuk } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

Dimana $x_1 < x_2 < x_3 < x_4$ = skala preferensi yang akan digunakan oleh pembuat keputusan dan m = jumlah *fuzzy number* yang digunakan dalam analisis. Gambar 2 menunjukkan fungsi keanggotaan $\mu(x)$ *trapezoidal number*. Fungsi keanggotaan alternatif a_i dapat digambarkan sebagai berikut (Singh dan Tiong: 2005):

$$\mu_{a_i}(x) = \begin{cases} 0, & x < x_1 \\ (x-x_1)/(x_2-x_1), & x_1 < x < x_2 \\ 1, & x_2 < x < x_3 \\ (x_4-x)/(x_4-x_3), & x_3 < x < x_4 \\ 0, & x > x_4 \end{cases}$$

Menentukan skala preferensi

Skala preferensi merupakan variabel linguistik dengan koresponden *fuzzy number*-nya, yang digunakan oleh pembuat keputusan untuk menilai secara kualitatif performa atribut para kontraktor berdasarkan kriteria keputusan yang sudah ditetapkan. Dalam studi ini, skala preferensi memiliki tujuh tingkatan seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Skala preferensi

Variabel linguistik	Fuzzy number
VG/VI (sangat baik/sangat penting)	(0.8, 0.9, 1.0, 1.0)
G/I (baik/penting)	(0.6, 0.7, 0.8, 0.9)
AA(diatas rata-rata)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
A(rata-rata)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)
BA(di bawah rata-rata)	(0.2, 0.3, 0.4, 0.5)
P/LI (buruk/kurang penting)	(0.1, 0.2, 0.3, 0.4)
VP/VLI (sangat buruk/ sangat kurang penting)	(0.0, 0.0, 0.1, 0.2)

Sumber: Singh dan Tiong (2005)

Menentukan kriteria keputusan

Kriteria keputusan adalah standar tertentu yang dipakai untuk menilai performa atau kualifikasi sejumlah alternatif tertentu. Dalam proses pelelangan, kriteria digunakan pemilik proyek untuk menjaring kontraktor yang berkompeten sekaligus mengeliminasi yang tidak berkompeten. Dengan demikian, kriteria keputusan tampak seperti sebuah filter bagi para kontraktor penawar. Kontraktor yang lolos atau memenangkan pelelangan adalah kontraktor yang sebanyak dan seoptimal mungkin memenuhi kriteria keputusan. Sebaliknya kontraktor yang tereliminasi adalah kontraktor yang paling minimum, rendah dan buruk dalam memenuhi kriteria.

Analisis data

Bagian analisis data mencakup beberapa tahapan perhitungan yakni perhitungan bobot individual, perhitungan bobot kombinasi kriteria, perhitungan bobot performa kontraktor pada kriteria tertentu, perhitungan *shapely value*, dan perhitungan total skor. Untuk memudahkan pembaca memahami perhitungan data, penulis akan

menjelaskan operasi dasar *fuzzy number* sebagai berikut. Misalkan $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ dan $B = (b_1, b_2, b_3, b_4)$ menjadi dua buah *trapezoidal fuzzy number*, maka penjumlahan, pengurangan, perkalian dan pembagagian kedua *fuzzy number* tersebut diekspresikan sebagai berikut (Kaufman dan Gupta 1991):

$$\begin{aligned}
 A+B &= (a_1, a_2, a_3, a_4) + (b_1, b_2, b_3, b_4) \\
 &= (a_1+b_1, a_2+b_2, a_3+b_3, a_4+b_4) \\
 A-B &= (a_1, a_2, a_3, a_4) - (b_1, b_2, b_3, b_4) \\
 &= (a_1-b_4, a_2-b_3, a_3-b_2, a_4-b_1) \\
 A \times B &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \times (b_1, b_2, b_3, b_4) \\
 &= (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3, a_4 \times b_4) \\
 A \div B &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \div (b_1, b_2, b_3, b_4) \\
 &= (a_1/b_4, a_2/b_3, a_3/b_2, a_4/b_1).
 \end{aligned}$$

Jika a_{ij}^k sebagai *fuzzy number* yang diberikan untuk sebuah alternatif/kontraktor A_i oleh DM_j (pembuat keputusan j) untuk kriteria keputusan C_k , maka rata-rata *fuzzy number* dari semua pembuat keputusan dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$A_{ij} = (1/p) \times (a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{ip}) \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, p \quad \dots\dots (2)$$

Di mana p = jumlah pembuat keputusan yang terlibat dalam proses evaluasi.

Perhitungan bobot individual kriteria

Bobot individual suatu kriteria merupakan nilai numerik tunggal yang merepresentasikan tingkat preferensi kriteria yang bersangkutan bagi masing-masing pembuat keputusan pada proses pengambilan keputusan. Pada penilaian preferensi kriteria, kita mendapatkan informasi preferensi kriteria berupa variabel linguistik yang perlu diterjemahkan ke dalam *fuzzy number*. Setelah mengkonversi skala linguistik ke dalam *fuzzy number*-nya masing-masing, selanjutnya *fuzzy number* hasil konversi tersebut di rata-rata dengan menggunakan persamaan (2). Nilai *fuzzy* rata-rata ini kemudian di defuzzifikasi menggunakan persamaan (3) sehingga mendapatkan nilai *crisp*. Tujuannya adalah untuk mengambil sebuah nilai numerik tunggal yang paling tepat untuk merepresentasikan derajat pentingnya kriteria bagi pembuat keputusan. Jika A sebuah *trapezoidal fuzzy number* dan ditandai dengan x_1, x_2, x_3, x_4 maka nilai defuzzifikasi e dapat diberikan oleh persamaan berikut ini (Kauffman dan Gupta 1991):

$$e = (x_1+x_2+x_3+x_4)/4 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dimana e = difuzzifikasi (nilai *crisp*) dari *trapezoidal fuzzy number* (x_1, x_2, x_3, x_4) .

Perhitungan bobot kombinasi

Perhitungan bobot kombinasi bertujuan untuk mendapatkan sebuah nilai tunggal yang merepresentasikan secara tepat derajat pentingnya sebuah kombinasi kriteria dalam proses pengambilan keputusan. Untuk mendapatkan sebuah nilai tunggal numerik tunggal, kita tinggal membagi jumlah skor yang diberikan oleh masing-masing responden dengan jumlah seluruh responden.

$$\text{Bobot kombinasi kriteria} = \frac{\text{Total bobot untuk sebuah kombinasi}}{\text{Jumlah seluruh responden}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Perhitungan bobot performa

Perhitungan bobot performa bertujuan untuk mendapatkan sebuah angka numerik tunggal yang merepresentasikan secara tepat kualifikasi atau kapabilitas kontraktor pada kriteria tertentu. Prosesnya sama seperti pada perhitungan bobot individual. Pertama-tama skala bahasa sebagai hasil penilain responden atas performa kontraktor diterjemahkan ke dalam *fuzzy number*-nya masing-masing. Setelah mengkonversi skala linguistik ke dalam *fuzzy number*, dicari nilai *fuzzy* rata-rata dengan persamaan (1). Selanjutnya nilai *fuzzy* rata-rata ini didefuzzifikasi untuk mendapatkan sebuah nilai numerik tunggal. Nilai inilah yang merupakan bobot performa kontraktor.

Perhitungan shapely value bagi setiap kriteria

Dalam proses seleksi kontraktor, kapabilitas para kontraktor penawar untuk menjalankan proyek sesuai jadwal, biaya dan spesifikasi pekerjaan yang sudah ditentukan dievaluasi dengan menggunakan sejumlah kriteria seperti harga tender, performa masa lalu, dan potensi performa. Ranking para kontraktor penawar yang dievaluasi ini keluar dalam bentuk *fuzzy score* pada semua kriteria.

Kesulitan akan dihadapi oleh pembuat keputusan ketika menemukan bahwa suatu kontraktor penawar memiliki kualifikasi yang baik pada suatu kriteria tertentu tetapi berkualifikasi buruk pada kriteria yang lain. Demikian pun yang terjadi pada kontraktor yang lain. Masalah ini semakin kompleks terutama karena proses seleksi kontraktor melibatkan banyak kriteria dan subkriteria serta banyak alternatif kontraktor. Oleh karena itu, yang paling penting dalam proses ini adalah memberi bobot setiap kriteria dan menentukan hubungan (*relationship*) antara kriteria. Hubungan antara kriteria akan merefleksikan struktur interaksi antar kriteria dan merepresentasikan preferensi pembuat keputusan pada kriteria. Struktur interaksi kriteria ini sering disebut sebagai *shapely value* atau *global importance*.

Singh dan Tiong (1995) menulis bahwa "*global importance*" sebuah kriteria tidak semata ditentukan oleh pentingnya ("*importance*") kriteria itu, tetapi juga oleh nilai seluruh kriteria yang lain yang dipertimbangkan dalam proses evaluasi. Shapley (1953) mengajukan sebuah metode untuk menentukan kontribusi marginal yang diharapkan dari sebuah kriteria bagi keseluruhan penilaian.

Sebuah himpunan kriteria keputusan sebagai $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\}$ dan μ sebuah ukuran *fuzzy* pada $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\}$ akan dipertimbangkan menjadi:

$$\mu(C) = \sum \mu_i(c_i) \quad \text{untuk } i=1,2,3,\dots,n.$$

$$\mu(\Phi) = 0 \quad \text{dan} \quad \mu(C) = 1$$

Di mana Φ = himpunan nol dan $\mu(c_i)$ = bobot atau *importance value* dari kriteria c_i . *Index importance* atau nilai *Shapley* dari kriteria c_i berkaitan dengan μ ditetapkan sebagai (Shapley 1953):

$$\text{Shapely Value } \mu[(c_i)] = \sum \frac{(N-A)!(A-1)!}{N!} [\mu(A) - \mu(A - c_i)] \dots \dots \dots (5)$$

Di mana N = jumlah kriteria keputusan; A = jumlah kombinasi kriteria keputusan yang mengandung kriteria c_i ; dan $0! = 1$.

Perhitungan total skor

Total skor merupakan angka numerik yang merepresentasikan kualifikasi atau kapabilitas kontraktor pada keseluruhan kriteria yang telah ditetapkan. Total skor bagi kontraktor diperoleh dengan cara mengalikan bobot performa masing-masing kontraktor pada masing-masing kriteria dengan *shapely value* yang merupakan fungsi keterkaitan kriteria. Hwang dan Yoon (1981) menulis bahwa skor akhir bagi masing-masing kontraktor dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\text{Skor akhir} = \sum x_k \cdot \mu(c_k) \dots\dots\dots (6)$$

Di mana $\mu(c_k)$ = *shapely value* kriteria k; x_k = bobot performa kontraktor pada kriteria k.

Output

Output dari penelitian ini adalah bobot performa masing-masing kontraktor berikut ranking para kontraktor yang memasukan penawaran pada Pelalangan Proyek X. Bobot performa dan ranking masing-masing kontraktor penawar ini dapat menjadi pertimbangan panitia lelang untuk menentukan kontraktor pemenang. Pada perhitungan data yang menggunakan aplikasi *fuzzy set theory* sebagai pendekatan, kontraktor yang mendapat bobot performa tertinggi akan memperoleh ranking terbaik dan memenagkan pelelangan.

D. ANALISIS DATA

Pelelangan Proyek X ini menggunakan tiga kriteria utama untuk mengevaluasi kualifikasi kontraktor penawar, yakni harga tender (C1), potensi performa (C2), performa masa lalu (C3). Potensi performa mengandung subkriteria (1) kesehatan keuangan, (2) kemampuan manajerial, (3) sumber daya yang tersedia, dan (4) kompetensi teknis. Performa masa lalu mengandung subkriteria (1) penyimpangan harga dan jadwal pada proyek masa lalu, (2) pemenuhan spesifikasi dan standard kualitas, (3) kegagalan masa lalu, serta (4) skala dan tipe proyek yang telah dikerjakan. Evaluasi ini dilakukan oleh empat orang pembaut keputusan yakni: DM1, DM2, DM3, dan DM4.

Pada bagian analisis data ini, penulis hanya menyajikan garis besar perhitungan dengan maksud agar pembaca lebih memahami logika pengambilan keputusan yang menggunakan *fuzzy set theory* sebagai pendekatan. Penulis menampilkan beberapa tabel hasil penilaian responden pada pelelangan Proyek X untuk dijadikan ilustrasi.

Perhitungan bobot individual

Perhitungan bobot individual bertujuan untuk mendapatkan sebuah nilai numerik tunggal yang secara tepat merepresentasikan derajat preferensi sebuah kriteria pada proses pengambilan keputusan.

Tabel 2 Penilaian preferensi subkriteria potensi performa

Subkriteria	Pembuat keputusan			
	DM1	DM2	DM3	DM4
Kesehatan Keuangan (c21)	VI	I	VI	I
Kemampuan manajerial (c22)	VI	I	I	I
Sumber daya yang tersedia (c23)	I	VI	VI	VI
Kompetensi teknis (c24)	VI	VI	VI	I

Keterangan: AA = Above average, VI = Very important, I = Important

Tabel 2 merupakan hasil penilaian preferensi subkriteria potensi performa yang dilakukan oleh responden pada pelelangan Proyek X. Setelah mengkonversi penilaian kualitatif tersebut ke dalam *fuzzy number*-nya masing-masing, maka matriks *fuzzy* untuk preferensi subkriteria potensi performa tampak sebagai berikut:

$$C2 = \begin{matrix} & \text{DM1} & \text{DM2} & \text{DM3} & \text{DM4} \\ \begin{matrix} c21 \\ c22 \\ c23 \\ c24 \end{matrix} & \begin{matrix} (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \end{matrix} & \begin{matrix} (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \end{matrix} & \begin{matrix} (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \end{matrix} & \begin{matrix} (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \end{matrix} \end{matrix}$$

Dengan menggunakan persamaan (2) matriks nilai *fuzzy* rata-rata untuk setiap subkriteria diperoleh:

$$C2 = \begin{matrix} c21 \\ c22 \\ c23 \\ c24 \end{matrix} \begin{matrix} (0.700, 0.800, 0.900, 0.950) \\ (0.650, 0.750, 0.850, 0.925) \\ (0.750, 0.850, 0.950, 0.975) \\ (0.800, 0.900, 1.000, 1.000) \end{matrix}$$

Dengan menggunakan persamaan (3), nilai defuzzifikasi untuk masing-masing subkriteria diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Kriteria } c21 &= (0.700 + 0.800 + 0.900 + 0.950)/4 = 0.8375 \\ \text{Kriteria } c22 &= (0.650 + 0.750 + 0.850 + 0.925)/4 = 0.79375 \\ \text{Kriteria } c23 &= (0.750 + 0.850 + 0.950 + 0.975)/4 = 0.88125 \\ \text{Kriteria } c24 &= (0.800 + 0.900 + 1.000 + 1.000)/4 = 0.925 \end{aligned}$$

Bobot individual subkriteria potensi performa dihitung dengan membagikan nilai defuzzifikasi kriteria dengan jumlah seluruh nilai defuzzifikasi:

$$\begin{aligned} W(c21) &= (0.8375)/(3.4375) = 0.244 \\ W(c22) &= (0.79375)/(3.4375) = 0.231 \\ W(c23) &= (0.88125)/(3.4375) = 0.256 \\ W(c24) &= (0.925)/(3.4375) = 0.269 \end{aligned}$$

Perhitungan bobot kombinasi kriteria

Perhitungan bobot kombinasi kriteria bertujuan untuk mendapatkan nilai numerik tunggal yang merepresentasikan preferensi kombinasi kriteria tersebut pada proses pengambilan keputusan.

Tabel 3 Penilaian bobot kombinasi subkriteria potensi performa

No.	Kombinasi subkriteria	DM1	DM2	DM3	DM4
1	W(c21,c22)	0,60	0,60	0,60	0,60
2	W(c21,c23)	0,625	0,65	0,625	0,65
3	W(c21,c24)	0,625	0,675	0,575	0,60
4	W(c22,c23)	0,625	0,575	0,60	0,675
5	W(c22,c24)	0,675	0,70	0,65	0,625
6	W(c23,c24)	0,70	0,70	0,65	0,70
7	W(c21,c22,c23)	0,8	0,80	0,85	0,85
8	W(c21,c22,c24)	0,875	0,825	0,90	0,85
9	W(c21,c23,c24)	0,875	0,875	0,90	0,875
10	W(c22,c23,c25)	0,90	0,850	0,95	0,90
11	W(c21,c22,c23,c24)	1,00	1,00	1,00	1,00

Hasil penilaian bobot kombinasi kriteria potensi performa pada Pelelangan Proyek X tampak pada tabel 3. Bobot kombinasi kriteria rata-rata dihitung dengan menggunakan persamaan (4):

$$w(c21,c22) = (0,60 + 0,60 + 0,60 + 0,60)/4 = 0,60$$

$$w(c21,c23) = (0,625 + 0,65 + 0,625 + 0,65)/4 = 0,6375$$

$$w(c21,c24) = (0,625 + 0,675 + 0,575 + 0,60)/4 = 0,61875$$

Dengan cara yang sama, kita akan mendapatkan hasil berikut:

$$w(c22,c23) = 0.61875; w(c22,c24) = 0.6625; w(c23,c24) = 0.6875;$$

$$w(c21,c22,c23) = 0.825; w(c21,c22,c24) = 0.8625; w(c21,c23,c24) = 0.88125;$$

$$w(c22,c23,c24) = 0.900; w(c21,c22,c23,c24) = 1.00$$

Yang menjadi catatan: $w(\Phi) = 0$.

Perhitungan *Shapely Value*

Menggunakan persamaan 5, *shapely value* bagi subkriteria potensi performa dihitung sebagai berikut:

- Untuk kriteria 21

Kriteria C21 sendiri:

$$\mu (c21)1 = [\{w(c21) - w(\Phi)\} \{(4-1)! (1-1)!\} / 4!]$$

$$= [\{(0.244) - (0)\} \{(6) (1)\} / 24]$$

$$= 0,061$$

Kombinasi C21 dengan C22:

$$\mu (c21)2 = [\{w(c21,c22) - w(c22)\} \{(4-2)! (2-1)!\} / 4!]$$

$$= [\{(0.60) - (0.231)\} \{(2) (1)\} / 24]$$

$$= 0,03075$$

Kombinasi C21 dengan C23:

$$\mu (c21)3 = [\{w(c21,c23) - w(c23)\} \{(4-2)! (2-1)!\} / 4!]$$

$$= [\{(0.6375) - (0.256)\} \{(2) (1)\} / 24]$$

$$= 0,03179$$

Kombinasi C21 dengan C24:

$$\mu (c21)4 = [\{w(c21,c24) - w(c24)\} \{(4-2)! (2-1)!\}]$$

$$= [\{(0.61875) - (0.269)\} \{(2) (1)\} / 24]$$

$$= 0,02915$$

Kombinasi C21, C22, C23

$$\begin{aligned} \mu (c21)5 &= [\{w(c21,c22,c23)- w(c22,c23)\} \{(4-3)!(3-1)!/4!\}] \\ &= [\{(0.825)- (0.61875)\} \{(1) (2)\}/24] \\ &= 0,01719 \end{aligned}$$

Kombinasi C21, C22, C24:

$$\begin{aligned} \mu (c21)6 &= [\{w(c21,c22,c24)-w(c22,c24)\} \{ (4-3)!(3-1)!/4!\}] \\ &= [\{(0.8625)- ((0.6625))\} \{(1) (2)\}/24] \\ &= 0,01667 \end{aligned}$$

Kombinasi C21, C23, C24:

$$\begin{aligned} \mu (c21)7 &= [\{w(c21,c23,c24)-w(c23,c24)\} \{ (4-3)!(3-1)!/4!\}] \\ &= [\{(0.88125)-(0.6875)\} \{(1) (2)\}/24] \\ &= 0.01615 \end{aligned}$$

Kombinasi C21,C22, C23, C24:

$$\begin{aligned} \mu (c21)8 &= [\{w(c21,c22,c23,c24)-w(c22,c23,c24)\} \{ (4-4)!(4-1)!/4!\}] \\ &= [\{(1)-(0.900)\} \{(1)(6)\}/24] \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

Shapely value bagi kriteria kesehatan keuangan atau $\mu(c21)$:

$$0,061 + 0,03075 + 0,03179 + 0,02915 + 0,01719 + 0,01667 + 0,01615 + 0,025 = 0.22770$$

Dengan cara yang sama, kita akan memperoleh hasil untuk $\mu(c22)$, $\mu(c23)$ dan $\mu(c24)$ berturut-turut adalah: 0,23586, 0,25878 dan 0,2978.

Perhitungan Bobot Performa Kontraktor

Pada proses evaluasi pelelangan, performa kontraktor diukur dengan kriteria-kriteria yang sudah ditetapkan. Tabel 5 merupakan hasil penilaian para responden tentang performa kontraktor pada subkriteria kesehatan keuangan (c21).

Tabel 4 Penilaian performa kontraktor pada kriteria kesehatan keuangan

Kontraktor penawar	Pembuat keputusan			
	DM1	DM2	DM3	DM4
Kontraktor A	VG	G	VG	VG
Kontraktor B	G	G	G	VG
Kontraktor C	G	VG	G	G
Kontraktor D	VG	G	G	G
Kontraktor E	VG	G	VG	G

Keterangan: VG = *very good*, G = *Good*

Dengan mengkonversi penilaian kualitatif pada tabel 5 ke dalam *fuzzy number*-nya masing-masing terlebih dahulu, maka matriks performa kontraktor pada subkriteria kesehatan keuangan menjadi:

$$c21 = \begin{matrix} & \text{DM1} & \text{DM2} & \text{DM3} & \text{DM4} \\ \begin{matrix} (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \end{matrix} & \begin{matrix} (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \end{matrix} & \begin{matrix} (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \end{matrix} & \begin{matrix} (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.8,0.9,1.0,1.0) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \\ (0.6,0.7,0.8,0.9) \end{matrix} & \begin{matrix} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \\ \text{E} \end{matrix} \end{matrix}$$

Menggunakan persamaan (2), matriks *fuzzy* rata-rata bagi performa kontraktor pada subkriteria kesehatan keuangan diperoleh sebagai berikut:

$$c21 = \begin{matrix} (0.750, 0.850, 0.950, 0.975) \\ (0.650, 0.750, 0.850, 0.925) \\ (0.650, 0.750, 0.850, 0.925) \\ (0.600, 0.700, 0.800, 0.900) \\ (0.700, 0.800, 0.900, 0.950) \end{matrix} \begin{matrix} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \\ \text{E} \end{matrix}$$

Nilai defuzzifikasi performa masing-masing kontraktor pada subkriteria kesehatan keuangan (c21) yang diperoleh menggunakan persamaan (3) adalah:

- Kontraktor A = 0.88125
- Kontraktor B = 0.79375
- Kontraktor C = 0.79375
- Kontraktor D = 0.7500
- Kontraktor E = 0.8375

Proses yang sama telah dilakukan untuk memperoleh bobot performa kontraktor pada subkriteria kemampuan manajerial (c22), sumber daya yang tersedia (c23), dan kompetensi teknis (c24). Hasil perhitungannya tampak pada tabel 5.

Tabel 5 Bobot performa kontraktor pada masing-masing subkriteria potensi performa

Subkriteria potensi performa	Kontraktor penawar				
	A	B	C	D	E
Kesehatan keuangan	0.88125	0.79375	0.79375	0.7500	0.8375
Kemampuan manajerial	0.76875	0.76875	0.79375	0.79375	0.88125
Sumber daya yang tersedia	0.79375	0.83750	0.83750	0.7500	0.8375
Sumber daya yang tersedia	0.7000	0.76875	0.7000	0.79375	0.76875

Perhitungan Total Skor

Bobot performa masing-masing kontraktor pada setiap subkriteria potensi performa tampak pada tabel 5. Dengan menggunakan persamaan (6), total skor bagi performa masing-masing kontraktor pada kriteria potensi performa adalah:

$$TS = \begin{matrix} \text{P} & \text{M} & \text{S} & \text{SW} & \text{ST} \\ \begin{matrix} 0.88125 & 0.79375 & 0.79375 & 0.75000 & 0.8375 \\ 0.76875 & 0.76875 & 0.79375 & 0.79375 & 0.88125 \\ 0.79375 & 0.83750 & 0.83750 & 0.75000 & 0.8375 \\ 0.7000 & 0.76875 & 0.70000 & 0.79375 & 0.76875 \end{matrix} & \begin{matrix} 0.22770 \\ 0.23586 \\ 0.25878 \\ 0.27978 \end{matrix} & \begin{matrix} \mu(C21) \\ \mu(C22) \\ \mu(C23) \\ \mu(C24) \end{matrix} \end{matrix}$$

Total skor bagi masing-masing kontraktor pada kriteria potensi performa kemudian dihitung sebagai berikut:

- Kontraktor A = [(0.88125) (0.22770) + (0.76875) (0.23586) + (0.79375) (0.25878) + (0.700) (0.27978)] = 0.78323
- Kontraktor B = [(0.79375) (0.22770) + (0.76875) (0.23586) + (0.83750) (0.25878) + (0.76875) (0.27978)] = 0.79386

$$\begin{aligned} \text{Kontraktor C} &= [(0.79375) (0.22770) + (0.79375) (0.23586) + \\ &\quad (0.83750) (0.25878) + (0.7000) (0.27978)] = 0.780525 \\ \text{Kontraktor D} &= [(0.7500) (0.22770) + (0.79375)(0.23586) + \\ &\quad (0.7500)(0.25878) + (0.79375) (0.27978)] = 0.77415 \\ \text{Kontraktor E} &= [(0.8375)(0.2277) + (0.88125)(0.23586) + \\ &\quad (0.8375)(0.25878) + (0.76875) (0.27978)] = 0.83036 \end{aligned}$$

Dengan proses yang sama penulis telah mendapatkan total skor masing-masing kontraktor pada kriteria performa masa lalu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kontraktor A} &= 0,82722 \\ \text{Kontraktor B} &= 0,74233 \\ \text{Kontraktor C} &= 0,76411 \\ \text{Kontraktor D} &= 0,78494 \\ \text{Kontraktor E} &= 0,76787 \end{aligned}$$

Pada pelelangan Proyek X ini, masing-masing kontraktor menawarkan harga sebagai berikut: Kontraktor A = Rp 1.391.000.000, kontraktor B = Rp 1.400.000.000, Kontraktor C = Rp 1.400.000.000, Kontraktor D = Rp 1.355.000.000, Kontraktor E = Rp 1.390.000.000. Dan *base tender price* untuk pelelangan ini adalah Rp 1.800.000.000,- *Base tender price* adalah jumlah yang menurut opini pembuat keputusan merupakan harga yang paling ekonomis untuk menjalankan proyek tanpa mengurangi kualitas dan aspek keselamatan kerja. Selanjutnya, perhitungan bobot performa bagi masing-masing kontraktor penawar berkaitan dengan harga tender diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\text{Bobot} = \frac{\text{Base tender price}}{\text{Harga penawaran}} \dots\dots\dots(7)$$

Dengan menggunakan persamaan (7), skor bagi masing-masing kontraktor penawar pada kriteria harga tender menjadi:

$$\begin{aligned} \text{Kontraktor A} &= 1.380.000.000,-/1.391.000.000,- = 0.9921 \\ \text{Kontraktor B} &= 1.380.000.000,-/ 1.400.000.000,- = 0.9857 \\ \text{Kontraktor C} &= 1.380.000.000,-/ 1.400.000.000,- = 0.9857 \\ \text{Kontraktor D} &= 1.380.000.000,-/ 1.355.000.000,- = 1.01845 \\ \text{Kontraktor E} &= 1.380.000.000,-/ 1.390.000.000,- = 0.9928 \end{aligned}$$

Tabel 6 Bobot performa masing-masing kontraktor pada setiap kriteria utama

Kriteria utama	Kontraktor penawar				
	A	B	C	D	E
Harga tender (C1)	0.9921	0.9857	0.9857	1.01845	0.9928
Potensi Performa (C2)	0.78323	0.79386	0.78053	0.77415	0.83036
Performa masa lalu (C3)	0.82722	0.74233	0.76411	0.78494	0.76787

Penulis tidak mencantumkan perhitungan bobot individual kriteria utama dan kombinasinya pada tulisan ini. Penulis hanya mencantumkan hasilnya sebagai berikut: $w(C1) = 0,344$, $w(C2) = 0,319$, $w(C3) = 0,337$, $w(C1,C2) = 0,8625$, $w(C1,C3) = 0,85625$, $w(C2,C3) = 0,8875$, $w(C1,C2,C3) = 1,0$.

Dengan persamaan (5), *shapely value* bagi kriteria utama adalah:

$$\begin{aligned} \mu(C1) &= 0.32929 \\ \mu(C2) &= 0.33242 \end{aligned}$$

$$\mu(C3) = 0.33829$$

Tabel 6 merupakan performa kontraktor pada keseluruhan kriteria yang sudah ditetapkan. Total skor performa masing-masing kontraktor penawar pada keseluruhan kriteria yang digunakan diperoleh menggunakan rumus (5) adalah:

$$TS = \begin{bmatrix} A & B & C & D & E \\ 0.9921 & 0.9857 & 0.9857 & 1.01845 & 0.9928 \\ 0.78323 & 0.79386 & 0.780525 & 0.77415 & 0.83036 \\ 0.82722 & 0.74233 & 0.76411 & 0.78494 & 0.76787 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.32929 \\ 0.33242 \\ 0.33829 \end{bmatrix} \begin{matrix} \mu(C1) \\ \mu(C2) \\ \mu(C3) \end{matrix}$$

Dengan demikian, total skor bagi performa masing-masing kontraktor pada keseluruhan kriteria akan menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kontraktor A} &= [(0.9921)(0.32929) + (0.78323)(0.33242) + (0.882722)(0.33829)] \\ &= 0.88567 \\ \text{Kontraktor B} &= [(0.9857)(0.32929) + (0.79386)(0.33242) + (0.74233)(0.33829)] \\ &= 0.83960 \\ \text{Kontraktor C} &= [(0.9857)(0.32929) + (0.780525)(0.33242) + (0.76411)(0.33829)] \\ &= 0.84253 \\ \text{Kontraktor D} &= [(1.01845)(0.32929) + (0.77415)(0.33242) + (0.78494)(0.33829)] \\ &= 0.85825 \\ \text{Kontraktor E} &= [(0.9928)(0.32929) + (0.83036)(0.33242) + (0.76787)(0.33829)] \\ &= 0.86271 \end{aligned}$$

Tabel 7 Bobot performa dan ranking bagi masing-masing kontraktor

Kontraktor Penawar	Kontraktor A	Kontraktor B	Kontraktor C	Kontraktor D	Kontraktor E
Skor	0.88567	0.83960	0.84253	0.85825	0.86271
Ranking	1	5	4	3	2

E. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Studi evaluasi penawaran ini diimplementasikan pada Proyek Pembangunan Kantor Perikanan dan Kelautan Kabupaten Manggarai Barat. Kontraktor-kontraktor yang mengajukan penawaran dalam pelelangan ini adalah: PT. Persada, CV. Mabar, CV. Sariwulan, CV. Satar Walang, dan CV. Tunggal Sejati. Berdasarkan hasil perhitungan data, diperoleh skor akhir bagi performa masing-masing kontraktor pada keseluruhan kriteria yang digunakan, sebagai berikut: 0,88567 untuk PT. Persada, 0,83960 untuk CV. Mabar, 0,84253 untuk CV. Sariwulan, 0,85825 untuk CV. Satar Walang serta 0,86271 untuk CV. Tunggal Sejati. Ranking bagi PT. Persada, CV. Mabar, CV. Sariwulan, CV. Satar Walang dan CV. Tunggal Sejati berturut-turut adalah 1,5,4,3,2. Dengan demikian kontraktor yang memenangkan Pelelangan Proyek Pembangunan Kantor Perikanan dan Kelautan Kabupaten Manggarai Barat dengan mengaplikasikan *fuzzy set theory* sebagai pendekatan adalah PT. Persada.

Fuzzy set theory ini menjadi sebuah materi yang sangat asing bagi para praktisi konstruksi di Indonesia, Teori ini tidak pernah dikenalkan sebagai materi kuliah Teknik Sipil, baik di program studi Sarjana maupun Magister. Sudah ada penggunaan program komputer yang memudahkan proses perhitungan data.

F. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Chen, S., Nie, X. dan Li, Y., (2007). Fuzzy Approach to Prequalifying construction Contractor, *Journal of Construction Engineering and Management*, vol.133, No. 1, pp.40-49.
- 2) Ervianto I. W., (2005), *Manajemen Proyek Konstruksi*, Edisi Revisi, C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- 3) Klir J. G. and Yuan Bo, (1995), *Fuzzy Sets And Fuzzy Logic (Theory and Application)*, Prentice Hall Inc.
- 4) Moselhi, O. dan Lorterapong, P., (1996), Project Network Analysis Using Fuzzy Sets Theory, *Journal of Construction Engineering and Management*, vol.122, No. 4, pp.308-318.
- 5) Soeharto, I., (1995), *Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional)*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- 6) Tiong L.K. R. dan Singh D., (2005), A Fuzzy Decision Framework for Contractor Selection, *Journal of Construction Engineering and Management* vol.131, No. 1, pp. 62-70.

KoNTekS 2

Konferensi Nasional Teknik Sipil 2