

MODEL ESTIMASI RISIKO PADA PROYEK INFRASTRUKTUR SKEMA KERJASAMA PEMERINTAH DAN SWASTA DENGAN PENDEKATAN FUZZY-DELPHI

Moch Husnullah Pangeran^{*1}

¹ Staf Pengajar / Program Studi Teknik Sipil / Universitas Khairun, Ternate
Korespondensi: husnullah_pangeran@yahoo.com

ABSTRACT

The development of infrastructure under public-private partnerships (PPP) schemes is perceived having a relatively high level of risk. Its referring to the scale of investment which requires generated income to be spread over a long time of concession period. Hence, the success of PPP in infrastructure development can not be separated from the appropriate risks allocation to the involved parties that best able to bear the risks. As one of the key steps in risk management process, risk assessment will provides the profile of the risks identified more depth and specific, then allocated to the parties as the mechanism of risks response. This study develops a model based on fuzzy-delphi approach to facilitate a structured subjective judgement of risks in a PPP infrastructure project. The model was tested by taking the case study of 15 identified major risks in water supply project under PPP concession scheme in Indonesia. The testing and evaluation of the proposed model involves a number of officials and staff from related central government agencies as respondents. By applying Fuzzy-Delphi technique, the probability and impact value of 15 major risks were assessed and quantified. Criteria used for model evaluation are comprehensiveness, clarity, ability to apply in real projects, contribution to the better decision, and overall satisfaction. Evaluation result indicated that the developed model is acceptable according to appreciation and approvals from the respondents representing the parties that are most interested with the model implementation in the future.

Keywords : *public-private partnership, infrastructure project, risk management, quantitative risk analysis, fuzzy logic, delphi method*

1. PENDAHULUAN

Kerjasama Pemerintah dan Swasta (KPS) dalam pembangunan infrastruktur telah menjadi kecenderungan global. Sebagai suatu spektrum dari berbagai kemungkinan ikatan kontraktual, KPS atau PPP (*public-private partnership*) bisa diupayakan dalam jangka pendek (*short-term*) untuk waktu kurang dari lima tahun, menengah (*mid-term*) hingga 15 tahun, atau panjang (*long-term*) hingga lebih dari 25 tahun. Istilah *public sector* merujuk Pemerintah sebagai representasi publik dalam penyelenggaraan infrastruktur. Pemerintah bisa jadi unit atau departemen Pemerintah Pusat, Pemerintah Daerah Provinsi/Kabupaten/Kota, termasuk Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) seperti Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Adapun sektor swasta bisa berbentuk perusahaan tunggal atau konsorsium.

Berdasarkan definisi Peraturan Presiden

No. 38 Tahun 2015 tentang Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU) dalam Penyediaan Infrastruktur, KPS merupakan kerjasama antara pemerintah dan Badan Usaha dalam Penyediaan Infrastruktur untuk kepentingan umum dengan mengacu pada spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya oleh Menteri/Kepala Lembaga/Kepala Daerah/Badan Usaha Milik Negara/Badan Usaha Milik Daerah, yang sebagian atau seluruhnya menggunakan sumber daya Badan Usaha dengan memperhatikan pembagian risiko diantara para pihak. Dalam hal pengendalian dan pengelolaan risiko yang merupakan salah satu prinsip dasar dalam pelaksanaan kerjasama, yakni dilakukan dengan penilaian risiko, pengembangan strategi pengelolaan, dan mitigasi terhadap risiko [1].

Sebagai salah satu langkah kunci dalam proses manajemen risiko, penilaian atau

estimasi risiko (*risk assessment*) merupakan proses menganalisis risiko-risiko proyek yang kritis (*critical*) dalam rangka meningkatkan kemungkinan tercapainya tujuan-tujuan proyek seperti biaya, kinerja dan jadwal [2]. Namun studi-studi terkait mengindikasikan bahwa sementara keahlian dan keterampilan pada area *risk assessment* umumnya tidak tersedia pada organisasi-organisasi di sektor publik atau Pemerintah [3] [4]. Dalam kaitan ini, dengan alasan kompleksitas KPS yang umumnya melibatkan dimensi sosial, politik, ekonomi, hukum, teknis dan lingkungan, risiko-risiko seringkali dianggap remeh (*under estimate*) dengan pengalokasian yang tidak didukung pengetahuan dan sumber daya yang memadai, serta kemampuan para pihak terkait untuk mengelolanya secara efektif [5].

Studi ini bertujuan mengembangkan suatu model estimasi risiko untuk menganalisis secara kuantitatif risiko-risiko pada proyek infrastruktur skema KPS. Model yang diajukan merupakan pengembangan dari teknik penilaian subyektif risiko secara terstruktur, dengan mengkombinasikan pendekatan *fuzzy set* dan metode Dephi.

2. KERANGKA TEORITIS DAN STUDI TERKAIT

Analisis risiko secara kuantitatif umumnya dilakukan setelah identifikasi risiko dan analisis risiko kualitatif, untuk mengagregasi variabel- variabel risiko yang diidentifikasi dan secara obyektif mengevaluasi dan membandingkan efek kombinasi dari risiko terhadap aktifitas- aktifitas proyek. Salah satu alasan sehingga pentahapan tersebut diperlukan adalah bahwa penting untuk memasukan semua risiko yang utama (*major risks*) ke dalam model biaya (*cost model*) [6]. Analisis risiko kuantitatif juga dilakukan untuk memeriksa kelayakan proyek (misalnya biaya), untuk menjawab pertanyaan seperti seberapa besar probabilitas untuk menyelesaikan proyek dalam biaya tertentu. Jika pendekatan analisis risiko kualitatif berupaya menentukan risiko-risiko yang paling penting, maka pendekatan analisis risiko kuantitatif untuk menggambarkan risiko dalam ukuran probabilitas terjadinya peristiwa risiko dan konsekuensinya dalam bentuk, misal, uang jika melibatkan biaya dan hari, minggu, atau bulan jika melibatkan waktu [7].

Analisis risiko kuantitatif identik dengan pengambilan keputusan di bawah kondisi

ketidakpastian (*uncertainty*), yang merujuk kepada ketiadaan informasi untuk membuat keputusan dengan baik [8]. Ini berarti bahwa ketidakpastian pada dasarnya bisa dikurangi atau dihilangkan ketika informasi tersedia. Adapun tantangan analisis risiko kuantitatif dikarenakan peristiwa-peristiwa di masa depan hanya dapat diprediksi sampai pada batas tertentu. Beberapa peristiwa bisa diprediksi berdasarkan tren di masa lalu, sementara peristiwa yang lain terjadi lebih spontan dan merupakan perubahan kualitatif atau tidak kontinyu. Misalnya, perubahan mendadak kondisi perekonomian, teknologi baru, tindakan terorisme, pergantian pemerintahan atau manajemen yang tiba-tiba.

Secara teori hal itu bisa diatasi dengan metode Bayes, yang mengubah probabilitas awal (*prior probability*) menjadi informasi baru yang lebih terang, dikenal sebagai *posterior probability*. Tapi untuk mendapatkan informasi baru, baik berasal dari survey, riset pasar, data ilmiah, bisa mahal. Informasi baru tidak akan ada artinya kecuali berpotensi mempengaruhi keputusan. Dalam hal ini nilai yang diharapkan dari informasi baru (yang belum tentu sempurna) harus melebihi biaya untuk mendapatkan informasi tersebut [8].

Lebih jauh, *posterior probability* tidak bisa dengan mudah diterapkan dalam pengambilan keputusan secara nyata [9]. Salah satu pertimbangannya adalah bahwa dalam penerapan di dunia nyata, pengambil keputusan sering tidak mampu menentukan secara obyektif *prior probability*. Kalaupun ingin memperbaiki situasi maka pengambil keputusan bisa mencari informasi-informasi tambahan. Pertimbangan lain adalah bahwa teorema Bayes membutuhkan *skill* tingkat lanjut, karena perhitungan *posterior probability* adalah prosedur rumit yang membutuhkan banyak informasi dan melibatkan perhitungan yang intensif.

Dalam konteks ini penggunaan pendekatan Fuzzy Set merupakan salah satu solusi, karena menawarkan pembuatan keputusan dengan ukuran-ukuran yang memiliki presisi tinggi di tengah keterbatasan data historis terkait risiko [9]. Lebih spesifik, pendekatan logika fuzzy dapat digunakan untuk menangkap domain kualitatif dari opini pakar untuk mengestimasi anggaran proyek konstruksi yang *affordable*. Meskipun teknik logika *fuzzy* tidak bisa menggantikan metode

deterministik, tapi dapat menjadi metode pelengkap dalam kasus di mana informasi tersedia tidak secara lengkap atau samar (*vague*) [10]. Dengan menggunakan logika fuzzy maka ketidakjelasan (*vagueness*) dan ketidaktepatan (*imprecision*) dapat direpresentasikan [11]. Untuk mendapatkan hasil estimasi yang akurat, metode Delphi dapat diterapkan. Sebagai sebuah metode yang mencoba menghilangkan ambiguitas secara statistik dan prosedural, Delphi merupakan metode yang efektif yang memungkinkan peramalan dengan mengkonvergensi nilai-nilai yang mungkin melalui mekanisme *feed back* dari hasil penilaian ahli [12].

3. PENGEMBANGAN MODEL

Model estimasi risiko yang diusulkan mengkombinasikan pendekatan Fuzzy Delphi, yang terdiri dari empat tahapan atau prosedur, yaitu (i) pendefinisian representasi linguistik dimensi probabilitas dan dampak risiko; (ii) penentuan fungsi keanggotaan fuzzy setiap representasi linguistik dimensi risiko; (iii) proses fuzzy delphi untuk memfasilitasi pengumpulan penilaian pakar (*expert*) atas nilai-nilai fuzzy dari dimensi risiko; dan (iv) Fuzzy Inference System (FIS) untuk mengkalkulasi nilai risiko.

3.1. Representasi Linguistik Dimensi Risiko

Terdapat dua dimensi dasar risiko, yaitu probabilitas terjadinya suatu peristiwa sebagai risiko (*probability of occurrence*) dan dampak

atau konsekuensinya (*consequence of occurrence*). Kedua atribut melekat penuh pada faktor risiko, tetapi seringkali sulit mengukur atau memprediksi nilai keduanya, dikarenakan tingginya tingkat ketidakpastian dalam proses estimasinya. Studi-studi psikologi kognitif menunjukkan individu-individu mendasarkan pemikiran mereka pada pola-pola konseptual dan gambar mental dibandingkan variabel-variabel kuantitatif atau angka [13].

Konsep variabel linguistik merupakan inti dari Teori Fuzzy Set, karena dasar-dasar teorinya adalah manipulasi ekspresi linguistik. Nilai yang diasumsikan oleh variabel linguistik adalah kata-kata atau kalimat dalam bahasa alami atau buatan, sehingga berbeda dari variabel numerik yang mana nilai-nilainya adalah angka. Dikarenakan kata-kata pada umumnya kurang memberikan presisi dari angka, maka konsep variabel linguistik dapat menjadi sarana untuk mendekati karakterisasi fenomena yang kompleks untuk dideskripsikan dalam istilah kuantitatif konvensional. Faktor-faktor risiko yang diidentifikasi dapat dicirikan dengan menggunakan representasi linguistik melalui kemungkinan terjadinya dan besaran dampaknya. Secara umum, representasi linguistik berikut skala numerik yang dapat diterapkan dalam penilaian parameter probabilitas risiko sebagaimana tersaji pada **Tabel 1**. Sedangkan untuk parameter/atribut dampak risiko dapat ditinjau dari sisi finansial atau biaya, seperti tersaji pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Kerangka representasi linguistik dan numerik untuk dimensi probabilitas risiko

Referensi	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
[14]	0,10	0,30	0,50	0,70	0,90
[15]	0 – 0,02	0,02 – 0,10	0,10 – 0,50	0,50 – 0,80	0,80 – 1
[16]	0 – 0,10	0,10 – 0,35	0,35 – 0,65	0,65 – 0,90	0,90 – 1
[17]	0,01 – 0,09	0,10 – 0,19	0,20 – 0,39	0,40 – 0,59	> 0,60
[18]	0,10	0,30	0,50	0,70	0,90
[19]	0 – 0,10	0,10 – 0,30	0,30 – 0,70	0,70 – 0,90	0,90 – 1
Sintesis	Min: 0 Max: 0,10	Min: 0,02 Max: 0,35	Min: 0,10 Max: 0,70	Min: 0,40 Max: 0,90	Min: 0,60 Max: 1

Tabel 2. Kerangka representasi linguistik dan numerik untuk dimensi dampak risiko

Referensi	Sangat Kecil	Kecil	Moderat	Besar	Sangat Besar
[14]	< 1%	1% – 5%	5% – 10%	10% – 20%	> 20%
[15]	< 1%	1% – 5%	5% – 10%	10% – 20%	> 20%
[17]	< 1%	1% – 5%	5% – 10%	10% – 20%	> 20%
[18]	< 5%	10%	20%	40%	80%
[19]	< 1%	1% – 2%	2% – 5%	5% – 10%	> 10%
[20]	< 1%	1% – 5%	5% – 10%	10% – 20%	> 20%
Sintesis	Min: 0% Max: 5%	Min: 1% Max: 10%	Min: 2% Max: 20%	Min: 5% Max: 40%	Min: 10% Max: 100%

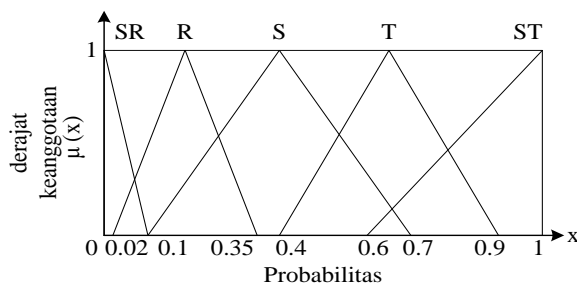
3.2. Fungsi Keanggotaan Fuzzy Dimensi Faktor Risiko

Himpunan fuzzy merupakan sebuah set dari elemen-elemen yang memiliki berbagai derajat keanggotaan (*degrees of membership*). Derajat keanggotaan dari suatu elemen disajikan oleh fungsi keanggotaan (*membership function*). Fungsi Keanggotaan memainkan peran yang serupa dengan fungsi *probability distribution* dalam Teori Probabilitas. Fungsi keanggotaan digunakan untuk merepresentasikan ketidakpastian, yang memetakan semesta pembicaraan (*universe of discourse*), X , ke dalam interval $[0,1]$. Semesta pembicaraan merepresentasikan elemen-elemen himpunan dan interval sesuai dengan set kelasnya. Kelas dari keanggotaan dalam fuzzy set bisa berada di mana saja di dalam interval $[0,1]$. Derajat 0 (nol) berarti elemen sama sekali bukan merupakan anggota himpunan. Sebaliknya, derajat 1 (satu) merupakan keanggotaan penuh. Berbeda dengan himpunan "crisp" yang hanya memiliki satu fungsi keanggotaan, himpunan fuzzy memiliki banyak fungsi keanggotaan.

Terdapat banyak tipe fungsi keanggotaan fuzzy, studi menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy segitiga (triangular) yang sudah umum digunakan dalam penelitian-penelitian terkait konstruksi, dan sejauh ini memberikan hasil memuaskan [20] [21]. Fungsi keanggotaan fuzzy triangular dari pernyataan- pernyataan linguistik yang telah disusun untuk dimensi probabilitas dan dampak dari faktor- faktor risiko diuraikan sebagai berikut.

3.2.1 Probabilitas Risiko

Representasi linguistik untuk dimensi probabilitas risiko adalah Sangat Rendah (SR), Rendah (R), Sedang (S), Tinggi (T), dan Sangat Tinggi (ST). Berdasarkan skala-skala numerik yang telah disusun pada **Tabel 1**, fungsi keanggotaan fuzzy triangular untuk dimensi probabilitas seperti ilustrasi pada **Gambar 1**.



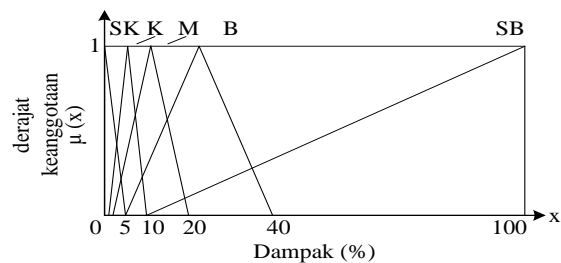
Gambar 1. Distribusi kemungkinan untuk himpunan fuzzy probabilitas risiko

Himpunan fuzzy untuk masing-masing representasi linguistik dapat dituliskan sebagai berikut:

- Probabilitas (SR) = (0: 0: 0,1)
- Probabilitas (R) = (0,02: 0,185: 0,35)
- Probabilitas (S) = (0,1: 0,4: 0,7)
- Probabilitas (T) = (0,4: 0,65: 0,9)
- Probabilitas (ST) = (0,6: 1: 1)

3.2.2 Dampak Risiko

Representasi linguistik untuk dimensi dampak terjadinya suatu peristiwa sebagai risiko adalah Sangat Kecil (SK), Kecil (K), Moderat (M), Besar (B), dan Sangat Besar (SB). Berdasarkan skala-skala numerik pada **Tabel 2**, maka fungsi keanggotaan fuzzy triangular untuk dimensi dampak risiko seperti ilustrasi pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Distribusi kemungkinan untuk himpunan fuzzy dampak risiko

Himpunan fuzzy untuk masing-masing representasi linguistik dapat dituliskan:

- Dampak (SK) = (0: 0: 5)
- Dampak (K) = (1: 5,5: 10)
- Dampak (M) = (2: 11: 20)
- Dampak (B) = (5: 22,5: 40)
- Dampak (SB) = (10: 100: 100)

Dalam praktek, fungsi keanggotaan fuzzy triangular sebagaimana tersaji tidak bersifat final. Nilai-nilai numerik pada setiap representasi linguistik dapat dimodifikasi atau disesuaikan dengan perolehan data baru dan/ atau konsensus pihak-pihak berkepentingan.

3.3. Proses Fuzzy Delphi

Dalam studi ini, pengintegrasian atau penggunaan secara bersama metode Fuzzy-Delphi adalah untuk mengumpulkan opini dari para pakar mengenai bilangan-bilangan fuzzy triangular atau TFN (Triangular Fuzzy Number) dari dimensi probabilitas dan dampak faktor-faktor risiko prioritas.

Secara garis besar, metode Delphi bekerja dengan melibatkan sekelompok ahli

yang dipilih berdasarkan bidang keahlian yang diperlukan atau dibutuhkan. Tanggapan para ahli terhadap serangkaian kuesioner dilakukan dengan tanpa nama dan selanjutnya mereka akan diberikan kesimpulan mengenai pendapatnya sebelum menjawab kuesioner selanjutnya. Dengan cara ini diyakini bahwa kelompok ahli akan menghasilkan tanggapan yang terbaik melalui proses konsensus. Melalui pemberian kuesioner yang dilakukan secara berurutan, jangkauan dari tanggapan para ahli akan mengalami penurunan dan nilai yang ingin diestimasi akan bergerak menuju jawaban yang dianggap “benar”.

Salah satu keuntungan prosedur Delphi adalah bahwa para ahli tidak pernah dikumpulkan secara fisik bersama-sama serta prosesnya tidak memerlukan persetujuan secara menyeluruh dari seluruh ahli karena opini direpresentasikan melalui suatu nilai tertentu, misalnya median. Tanggapan responden juga dilakukan dengan tanpa nama sehingga kelemahan dari sifat ego, dominasi dari kelompok tertentu dan pengaruh dari pihak lain dapat dihindari. Secara prosedur [12][22], proses fuzzy-delphi dalam rangka memperoleh TFN dari para ahli dilakukan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut.

Langkah ke-1

Sekelompok ahli diminta memberikan pendapat/opini mereka mengenai nilai (linguistik) untuk dimensi probabilitas dan dampak dari faktor risiko yang sedang ditinjau tanpa ada komunikasi sama sekali di antara mereka. Para ahli diberikan panduan mengenai faktor-faktor risiko yang sedang ditinjau termasuk deskripsi, konsekuensi potensial, fase insiden risiko dalam siklus proyek, dan basis pembiayaan risiko. Para ahli diasumsikan akan memberikan pendapatnya menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy triangular, sebagai berikut.

$$A_i^i = (a_1^i, b_1^i, c_1^i) \quad (1)$$

Dengan, i menunjukkan penilaian oleh pakar ke- i , dan 1 menunjukkan tahap pertama dari proses penilaian. a , b , dan c adalah nilai minimum, *most likely*, dan maksimum dari fungsi triangular yang diberikan oleh masing-masing ahli. Secara ringkas, TFN yang diberikan oleh para ahli sebagaimana yang telah disajikan dalam **Gambar 1** untuk dimensi probabilitas dan **Gambar 2** untuk dimensi

dampak terjadinya risiko. Sebagai ilustrasi, jika seorang ahli menyatakan bahwa probabilitas terjadinya risiko adalah Tinggi (T) maka diperoleh TFN (0,33 : 0,615 : 0,90). Demikian halnya untuk pernyataan bahwa dampak dari terjadinya risiko adalah Moderat (M) maka diperoleh TFN (2% : 11% : 20%).

Langkah ke-2

Menghitung rata-rata TFN dari para ahli dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F_{avr} = (A_{avr}, B_{avr}, C_{avr}) = \frac{1}{n} (\sum a_i, \sum b_i, \sum c_i) \quad (2)$$

F_{avr} adalah rata-rata *fuzzy* dari opini para ahli.

Langkah ke-3

Menghitung deviasi dari rata-rata *fuzzy* untuk masing-masing ahli dengan persamaan:

$$D_i = F_{avr} - A_i = \left(\frac{1}{n} \sum a_i - a_i, \frac{1}{n} \sum b_i - b_i, \frac{1}{n} \sum c_i - c_i \right) \quad (3)$$

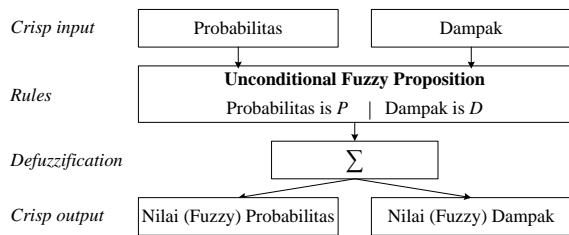
Perbedaan bisa *null*, positif atau negatif.

Langkah ke-4

Dalam hal terdapat perbedaan atau deviasi yang signifikan, data yang telah dihitung dikirim kembali ke masing-masing ahli dan diminta untuk merevisi pendapat mereka. Dengan demikian para ahli akan memberikan opini atau penilaian terbaru mereka. Langkah ke-2 sampai ke-4 diulang sampai rata-rata TFN yang diberikan para ahli menjadi cukup stabil (proses Delphi dapat dihentikan). Dalam kasus ini *dissemblance index* yang terdapat di antara dua bilangan *fuzzy* dapat digunakan sebagai kriteria berhenti pada suatu proses *fuzzy* Delphi, yaitu dengan menentukan apakah suatu solusi sudah stabil/konvergen atau belum [12][21]. *Dissemblance index* ini dapat disebut juga sebagai ukuran kesamaan (*similarity measure*) dari dua bilangan *fuzzy* [23].

3.4. Fuzzy Inference System

Fuzzy Inference System (FIS) memetakan masukan (*input*) berupa representasi linguistik dari dimensi probabilitas dan dampak risiko yang ditinjau menjadi keluaran (*output*) berupa himpunan risiko fuzzy untuk kedua nilai yang ditinjau didasarkan kepada *rule* yang diberikan. Struktur FIS yang digunakan sebagaimana ilustrasi pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Struktur FIS yang digunakan untuk mengestimasi nilai risiko

Semua informasi mengalir dari atas ke bawah dan semua rule dieksekusi secara paralel sampai proses *defuzzification*. Pengeksekusian semua rule secara paralel merupakan salah satu proses penting dalam *fuzzy logic*, karena rule mewakili sebuah mode operasi tertentu dari sistem yang dimodelkan dengan FIS, yang akan bergerak dari satu mode ke mode lain secara *smooth* atau kontinu di mana kelakuan sistem didominasi *rule* tertentu pada setiap saat.

3.4.1 Pengaburan (*Fuzzification*)

Pengaburan merupakan proses mengubah variabel non fuzzy (numerik) menjadi variabel fuzzy (linguistik). FIS mengambil masukan- masukan berupa bilangan tegas (*crisp*) dan menentukan derajat keanggotaannya dalam semua himpunan fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan masing-masing himpunan fuzzy. FIS didisain untuk mengambil dua masukan, yaitu probabilitas dan dampak risiko, dan menghasilkan keluaran untuk keduanya, yaitu nilai fuzzy probabilitas dan dampak risiko.

3.4.2 Proposisi

Perbedaan mendasar antara aturan (*rule*) atau proposisi logika klasik dengan proposisi logika fuzzy terletak pada nilai kebenarannya. Nilai kebenaran proposisi logika klasik adalah 0 atau 1, sedangkan logika fuzzy berada pada interval [0,1]. Tiap-tiap proposisi pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Terdapat dua jenis proposisi, yaitu *conditional fuzzy proposition* dan *unconditional fuzzy proposition* (proposisi yang tak berkondisi). Studi ini menggunakan jenis *unconditional fuzzy proposition*, dengan tidak digunakannya pernyataan IF, secara umum:

$$x \text{ is } A \quad (4)$$

Dengan, x adalah variabel skalar dari domain dan A adalah variabel linguistik. Proposisi ini selalu diaplikasikan dengan model AND.

Tergantung pada bagaimana proposisi diaplikasikan, bisa membatasi daerah *output*,

bisa juga mendefinisikan *default* daerah solusi (jika tidak ada aturan terkondisi yang dieksekusi). Penggunaan rule tak berkondisi untuk menegaskan kebenaran dari representasi linguistik yang diberikan kepada kedua dimensi probabilitas dan dampak risiko, secara umum:

- # Probabilitas is Sangat Rendah *is true*
- # Probabilitas is Rendah *is true*
- # Probabilitas is Sedang *is true*
- # Probabilitas is Tinggi *is true*
- # Probabilitas is Sangat Tinggi *is true*
- # Dampak is Sangat Kecil *is true*
- # Dampak is Kecil *is true*
- # Dampak is Moderat *is true*
- # Dampak is Besar *is true*
- # Dampak is Sangat Besar *is true*

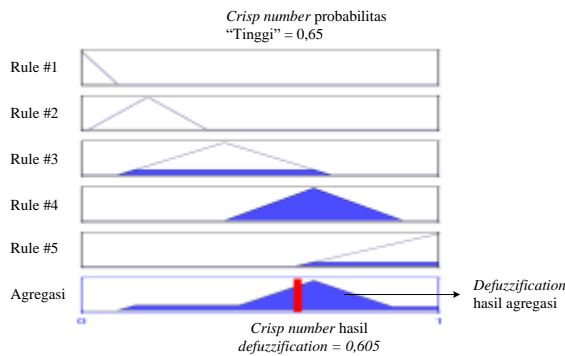
3.4.3 Agregasi

Setelah keluaran setiap rule ditentukan, tahap selanjutnya melakukan proses agregasi, yang mengkombinasikan keluaran semua rule menjadi sebuah fuzzy set tunggal. Studi ini menggunakan metode max, dimana solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memofifikasi daerah fuzzy, dan mengaplikasikannya ke keluaran dengan menggunakan operator OR (union). Jika semua proposisi (*rule*) telah dievaluasi, maka keluaran akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari masing-masing proposisi. Untuk mentransfer aturan kualitatif ke hasil kuantitatif, maka algoritma inferensi fuzzy Mamdani diterapkan, yaitu operator min untuk metode AND dari himpunan fuzzy keluaran.

3.4.4 Penegasan (*Defuzzification*)

Dikarenakan masukan dari fuzzification adalah bilangan tunggal, yaitu nilai *crisp* untuk probabilitas/dampak risiko, dan keluarannya adalah derajat keanggotaan dalam fuzzy set dalam anteseden, maka masukan dan keluaran defuzzification adalah kebalikannya. Secara ringkas masukan defuzzification adalah sebuah fuzzy set hasil agregasi dan keluarannya adalah sebuah bilangan tunggal, yaitu nilai probabilitas dan dampak risiko. Terdapat beberapa metode untuk defuzzification dalam model Mamdani, dalam studi ini digunakan metode *center of area* atau *centroid* di bawah kurva dari himpunan fuzzy hasil agregasi. Solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah fuzzy. Selain mudah dihitung, metode ini membuat nilai *defuzzy* akan bergerak secara halus sehingga perubahan dari

suatu topologi himpunan fuzzy ke topologi berikutnya juga akan berjalan dengan halus. Dimisalkan masukan *fuzzification* adalah “probabilitas TINGGI”, maka proses *defuzzification* hasil agregasi seperti ilustrasi **Gambar 4**.



Gambar 4. Ilustrasi proses agregasi dan *defuzzification*

3.4.5 Aplikasi Inferensi Fuzzy

Seluruh proses inferensi fuzzy dapat dilakukan menggunakan fasilitas Fuzzy Logic Toolbox pada perangkat lunak Matlab yang dikembangkan oleh The MathWorks, Inc. Fuzzy Logic Toolbox pada Matlab memberikan fasilitas Graphical User Interface (GUI) untuk mempermudah dalam membangun suatu sistem fuzzy. Tersedia tutorial yang berguna untuk seluruh proses ini [24].

4. UJI COBA DAN EVALUASI MODEL

Dengan mengambil kasus proyek skema KPS untuk infrastruktur air minum, studi mensimulasikan penilaian terhadap 15 faktor risiko yang dianggap penting (*major risks*). Uji coba dan evaluasi model dilakukan di Kementerian Pekerjaan Umum (BPPSPAM dan Direktorat Pengembangan Air Minum Direktorat Jenderal Cipta Karya), Jakarta. Nara sumber ujicoba terdiri dari tujuh orang staf BPPSPAM yang pernah dan sedang aktif terlibat dalam pengembangan proyek-proyek KPS penyediaan air minum di Indonesia.

Hasil ujicoba menunjukkan beberapa faktor risiko cukup dengan satu putaran delphi untuk menghasilkan estimasi yang stabil (konvergen), yang ditunjukkan melalui nilai *dissemblance indeks*. Tidak ada standar nilai ambang (*threshold value*) untuk *dissemblance index* antara dua bilangan fuzzy, studi ini menerapkan nilai *dissemblance index* $\leq 0,2$ sebagai acuan untuk menilai kestabilan TFN

yang diperoleh dari proses fuzzy delphi [23]. Sementara faktor risiko yang lain memerlukan dua hingga tiga putaran delphi. Penilaian atas beberapa faktor risiko juga diasumsikan sudah stabil mengingat sebagian penilaian nara sumber menghasilkan *dissemblance indeks* $< 0,2$ pada putaran delphi ketiga.

Setelah nilai rata-rata TFN untuk probabilitas dan dampak dari faktor-faktor risiko diperoleh, langkah selanjutnya adalah proses inferensi fuzzy menggunakan Fuzzy Logic Toolbox pada perangkat lunak Matlab. Secara ringkas, hasil *defuzzification* yang merupakan nilai akhir estimasi probabilitas dan dampak faktor-faktor risiko yang ditinjau sebagaimana tersaji pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai (estimasi) probabilitas dan dampak hasil *defuzzification*

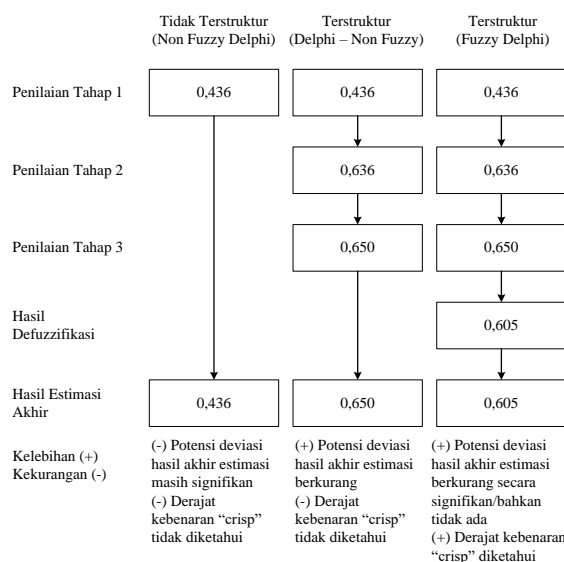
Faktor Risiko	Hasil <i>defuzzification</i>		EV (R)
	P	D	
R1 Ketidakterediaan sumber air baku	0,605	48,0%	29,04%
R2 Permintaan (<i>demand</i>) tidak sesuai dengan yang diperkirakan	0,605	38,0%	22,99%
R3 Kualitas air baku buruk	0,605	48,0%	29,04%
R4 Ketidakpastian kuantitas air curah (jika ada air curah disuplai dari pemasok lain)	0,400	38,0%	15,20%
R5 Ketidakpastian dalam penyesuaian tarif	0,605	38,0%	22,99%
R6 Bencana alam karena "Act of God"	0,333	38,0%	12,65%
R7 Kualitas air curah buruk (jika ada air curah disuplai dari pemasok lain)	0,400	29,8%	11,92%
R8 Kebocoran teknis dalam sistem distribusi	0,462	29,8%	13,77%
R9 Deklarasi perang	0,258	38,0%	9,80%
R10 Bencana alam karena ulah manusia	0,400	36,7%	14,68%
R11 Fluktuasi permintaan (penggunaan layanan)	0,400	20,1%	8,04%
R12 Ketidakpastian ketersediaan dan biaya pasokan listrik dan BBM	0,462	36,7%	16,96%
R13 Fasilitas yang dibangun tidak sesuai spesifikasi disain atau standar mutu yang disyaratkan	0,400	36,7%	14,68%
R14 Gangguan operasi karena kerusakan peralatan	0,400	20,1%	8,04%
R15 Kerusuhan massal (<i>riots</i>)	0,296	26,9%	7,96%

Keterangan: P = probabilitas terjadinya risiko
D= dampak terjadinya risiko
EV (R) = expected value of risk (P*D)

Dari **Tabel 3** diketahui bahwa nilai harapan (EV) tertinggi terdapat pada risiko

Ketidaktersediaan sumber air baku (29,04%) dan Kualitas air baku buruk (29,04%). Adapun EV terendah di bawah 10% terdapat pada risiko kemungkinan terjadinya gangguan operasi karena kerusakan peralatan dan risiko fluktuasi permintaan (8,04%), serta risiko terjadinya kerusuhan massal (7,96%).

Hasil uji coba menunjukkan bahwa pendekatan Fuzzy Delphi yang diterapkan ditengah keterbatasan atau bahkan ketiadaan data historis untuk memodelkan distribusi frekuensi risiko, mampu menginformasikan nilai kuantitatif dari probabilitas dan dampak faktor risiko. Dibandingkan dengan *subjective individual judgement* yang tidak melibatkan pendekatan Fuzzy Set, hasil Fuzzy Delphi yang diterapkan menawarkan derajat kebenaran lebih tinggi untuk hasil estimasi nilai probabilitas dan dampak risiko. Sebagai perbandingan (menggunakan data hasil uji coba untuk penilaian probabilitas faktor risiko Permintaan tidak sesuai perkiraan), **Gambar 5** memberikan ilustrasi cara kerja dan keluaran atau hasil estimasi dari penerapan pendekatan-pendekatan *subjective judgement* yang tidak terstruktur (*unstructured*), terstruktur (*structured*) dengan proses Delphi tapi tidak melibatkan pendekatan Fuzzy Set, dan *subjective judgement* terstruktur dengan melibatkan pendekatan Fuzzy Delphi.



Gambar 5. Perbandingan hasil estimasi dari penerapan pendekatan-pendekatan *subjective judgement* untuk kuantifikasi risiko

Studi menggunakan lima kriteria penilaian untuk evaluasi model [25]. Kelima kriteria, yaitu: (i) kelengkapan (*comprehensiveness*), yang menunjukkan model telah mempertimbangkan berbagai aspek yang diperlukan; (ii) kejelasan (*clarity*), yang mengindikasikan model tidak mengandung materi-materi yang kurang jelas atau membingungkan; (iii) kemampuan model untuk diterapkan pada proyek nyata; (iv) efektifitas atau kontribusi model terhadap hasil keputusan; dan (v) kepuasan secara keseluruhan.

Dalam pelaksanaannya, para nara sumber (dalam hal ini para pejabat terkait di BPPSPAM dan DJCK Kementerian PU) yang berpartisipasi dalam proses evaluasi model diberikan gambaran dan penjelasan secara menyeluruh mengenai model yang diusulkan dan asumsi-asumsi yang digunakan, berikut demonstrasi secara langsung aplikasi-aplikasi spreadsheet dan perangkat lunak pendukung berdasarkan kepada hasil uji coba. Setelah melalui diskusi-diskusi intensif untuk memperdalam dan memperjelas, para nara sumber selanjutnya memberikan penilaian menggunakan kelima kriteria yang digunakan. Disebabkan kendala waktu untuk mengumpulkan para nara sumber secara bersama pada satu tempat, proses presentasi dan demonstrasi model dilakukan secara satu per satu. Untuk efisiensi dan efektifitas, para nara sumber telah diberikan material-material terkait beberapa hari sebelum presentasi dan demonstrasi. Secara umum waktu yang diperlukan untuk presentasi, demonstrasi, dan diskusi adalah sekitar 1 hingga 2 jam.

Penilaian menggunakan skala likert 1 sampai 5 yang merepresentasikan respon nara sumber untuk "Sangat tidak setuju" hingga "Sangat setuju" terhadap pernyataan yang merepresentasikan lima kriteria penilaian yang digunakan. Dari lima orang nara sumber diperoleh skor rata-rata untuk kriteria: Kelengkapan (3,80); Kejelasan (3,80); Kemampuan untuk diterapkan pada proyek nyata (4,20); Efektifitas atau kontribusi model terhadap hasil keputusan (4,00); dan Kepuasan secara keseluruhan (4,00).

Bagaimanapun, uji coba dan evaluasi juga mengidentifikasi "permasalahan" yang masih terkandung dalam teknik kuantifikasi risiko yang dikembangkan. Dalam kaitan ini beberapa faktor risiko diperkirakan memiliki nilai harapan (*expected value*) yang tidak

terlalu signifikan mengacu pada kekhasannya dan disesuaikan dengan konteks proyek studi kasus yang sedang ditinjau (infrastruktur air minum). Namun dalam fase Delphi ternyata memperoleh nilai harapan yang cukup besar.

Sebagai contoh pada faktor risiko Ketidaktersediaan sumber air baku dan Kualitas air baku buruk, yang mana keduanya mendapat nilai harapan 29,04%. Kedua faktor risiko memperoleh nilai probabilitas 0,65 (dicapai pada Delphi putaran #3). Tingginya nilai probabilitas untuk kedua faktor risiko cenderung kontradiktif mengacu pada usulan proyek yang tentunya sudah mempertimbangkan berbagai kemungkinan untuk mengurangi potensi munculnya kedua faktor risiko. Rasionalisasinya, obyek utama kerjasama adalah penyediaan air, sehingga kurang beralasan jika tidak ada pertimbangan dalam Pra Studi Kelayakan mengenai ketersediaan air baku, baik dari sisi kuantitas maupun kualitas. Pada kasus ini, studi mengindikasikan terdapat kemungkinan penilai mengabaikan konteks proyek studi kasus yang sedang ditinjau ketika melakukan estimasi terhadap nilai probabilitas faktor risiko. Indikasi ini cukup beralasan mengacu pada isu "optimisms bias" yang umumnya didapati pada estimasi-estimasi sektor publik.

Oleh karena itu salah satu gagasan yang muncul berdasarkan interaksi dengan para nara sumber yang berpartisipasi dalam uji coba dan evaluasi model yang dikembangkan, adalah perlu dipertimbangkannya potensi mitigasi atau potensi deteksi dini risiko yang biasa digunakan dalam metode FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*). Dalam hal ini potensi deteksi dini risiko perlu diperlakukan sebagai dimensi yang menentukan nilai risiko. Adapun secara keseluruhan, model estimasi risiko yang dikembangkan dinilai akseptabel mengacu pada respon positif, apresiasi dan persetujuan-persetujuan dari para nara sumber selaku pihak yang paling berkepentingan dengan implementasi model di masa depan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Studi ini mengembangkan model estimasi risiko untuk menganalisis secara kuantitatif risiko-risiko pada proyek infrastruktur skema KPS. Model yang diajukan merupakan pengembangan dari teknik penilaian subyektif risiko secara terstruktur, yang mengkombinasikan pendekatan fuzzy set

dan metode Dephi.

Studi mengindikasikan bahwa pendekatan Fuzzy Delphi yang diterapkan ditengah keterbatasan atau bahkan ketiadaan data historis untuk memodelkan distribusi frekuensi risiko, mampu menginformasikan nilai kuantitatif dari probabilitas dan dampak faktor risiko. Dibandingkan dengan *subjective individual judgement* yang tidak melibatkan pendekatan Fuzzy Set, hasil Fuzzy Delphi yang diterapkan menawarkan derajat kebenaran lebih tinggi untuk hasil estimasi nilai probabilitas dan dampak risiko. Namun demikian studi ini hanya membatasi pada dua dimensi tradisional risiko, yaitu probabilitas kejadian dan dampak kerugian. Hasil ujicoba dan evaluasi model mengisyaratkan perlunya memperhitungkan potensi mitigasi atau potensi deteksi dini risiko sebagai dimensi atau atribut yang menentukan nilai risiko. Studi-studi selanjutnya perlu mempertimbangkan dimensi tersebut, yang diharapkan dapat meningkatkan akurasi dalam mengestimasi nilai kuantitatif risiko.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Presiden No. 38 Tahun 2015 tentang Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha dalam Penyediaan Infrastruktur
- [2] Conrow, E.H., *Effective Risk Management: Some Keys to Success*, 2nd Edition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2003.
- [3] Akintoye, A, Fitzgerald, E dan Hardcastle, C., *Risk Management for Local Authorities' Private Finance Initiative Projects*, Proceedings of Construction and Building Research (COBRA) Conference, University of Salford, UK, 1999.
- [4] Merrifield, A., Manchidi, T. E., dan Allen, S., *The Asset Procurement and Operating Partnership System (APOPS) for Prisons in South Africa*, International Journal of Project Management, 20 (8), 2002 : 575-582.
- [5] Ng, A. dan Loosemore, M., *Risk Allocation in the Private Provision of Public Infrastructure*, International Journal of Project Management, 25, 2006 : 66-76.
- [6] Hulett, D.T., *Quantitative Risk Analysis Fundamentals*, Acquisition Community Connection, Los Angeles, 2004.
- [7] Stam, D.W., Lindenaar, F., Kindereen, S., dan den Bunt, B. , *Project Risk Management: An Essential Tool for Managing and Controlling Projects*, Kogan Page, London and Sterling, VA., 2004.
- [8] Sunnevaag, K., dan Samset, K. , *Making Large*

- Decisions When Little Information Exists*, Project Perspectives, 29, 2007 : 58-64.
- [9] Rommelfanger, H., *Fuzzy Decision Theory: Intelligent Ways for Solving Real-World Decision Problems and for Saving Information Costs*, dalam, G. D. Riccia, D. Dubois, R. Kruse dan H.-J. Lenz, Eds., *Planning Based on Decision Theory*, Wien, Springer, 2003.
- [10] Kangari, R., dan Riggs, L.S., *Construction Risk Assessment by Linguistics*, IEEE Transaction in Engineering Management, 36 (2), 1989 : 126-131.
- [11] Esogbue, A.O., dan W.E. Hearnese II., *On Replacement Models Via a Fuzzy Set Theoretic Framework*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 28 (4), 1998 : 549-560.
- [12] Chang, I.S., Tsujimura, Y., Gen, M., dan Tozawa, T., *An Efficient Approach for Large Scale Project Planning Based on Fuzzy Delphi Method*, Fuzzy Sets and Systems, 76, 1995 : 277-288.
- [13] Baloi, D. dan Price, A.D.F., *Modelling Global Risk Factors Affecting Construction Cost Performance*, International Journal of Project Management, 21, 2003 : 261-9.
- [14] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, Philadelphia, USA, 2000.
- [15] Cooper, D.F., Grey, S., Raymond, G., dan Walker, P., *Project Risk Management Guidelines: Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements*, John Wiley & Sons Ltd, England, 2005.
- [16] Walewski, J., Gibson, G.E., dan Vines, E.F., *Risk Identification and Assessment for International Construction Projects*, Global Project Management Handbook, 2nd Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 2006.
- [17] California Transportation, *Project Risk Management Handbook: Threats and Opportunities*, Office of Statewide Project Management Improvement, Sacramento, USA, 2007.
- [18] Hillson, D., *Managing Risk in Projects*, Gower Publishing Limited, England, 2009.
- [19] Washington State Department of Transportation (WSDOT), *Project Risk Management Guidance for WSDOT Projects*, WSDOT Administrative and Engineering Publications, USA, 2009.
- [20] Tah, J.H.M. dan Carr, V., *A Proposal for Construction Project Risk Assessment Using Fuzzy Logic*, Construction Management and Economics, 18, 2000 : 491-500.
- [21] Nasirzadeh, F., Afshar, A., and Kharzadi, M., *Dynamic Risk Analysis in Construction Projects*, Canadian Journal of Civil Engineering, 35 (8), 2008 : 820-831.
- [22] Shaheen, A., Fayek, A.R., and Abourizk, S.M., *Fuzzy Numbers in Cost Range Estimating*, Journal of Construction Engineering and Management, 133 (4), 2007 : 325-334.
- [23] Kim, W.J., Ko, J.H., dan Chung, M.J., *Uncertain Robot Environment Modeling Using Fuzzy Numbers*, Fuzzy Sets and Systems, 61, 1994 : 53-62.
- [24] Kusumadewi, S., *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta, 2002.
- [25] Ghavamifar, K., *A Decision Support System for Project Delivery Method Selection in the Transit Industry*, PhD Dissertation, The Department of Civil and Environmental Engineering, Northeastern University, Boston, Massachusetts, 2009.