

Manajemen Risiko pada Penentuan Strategi Pemeliharaan Berdasarkan Faktor-Faktor Penyebab Kebocoran *Pipeline* Sebagai Upaya Mitigasi Risiko Di Pt. X

Whilda Kamila Sari dan Drs. Haryono

Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 IndonesiaEmail

e-mail : haryono@statistika.its.ac.id

Abstrak— Kebocoran *pipeline* menjadi masalah besar dalam proses pendistribusian minyak karena fenomena ini memberikan dampak yang besar. Kent Muhlbauer (2004) menyebutkan ada empat faktor utama yang menyebabkan kebocoran pipa, yaitu *third party damage index*, *design index*, *corrosion index*, dan *incorrect operation index*. *Third party damage index* dipengaruhi oleh *minimum depth of cover*, *above ground facilities*, *line locating*, *public education programs*, dan *ROW condition*. *Atmospheric indicators*, *internal corrosion*, dan *fluid characteristic* digunakan untuk menggambarkan *corrosion index*. *Design index* dijelaskan oleh faktor *safety indicators*, *fatigue*, dan *surge potential*. *Incorrect operation index* dipengaruhi oleh *operation* dan *maintenance*. Manajemen risiko terdiri dari identifikasi, evaluasi, dan pengelolaan. *Confirmatory Factor Analysis* (CFA) digunakan dalam identifikasi risiko untuk menemukan variabel yang signifikan dari faktor kebocoran pipa. Semua variabel signifikan untuk kasus ini dan ditemukan hubungan antarvariabel. Dengan menggunakan *Analytical Network Process* (ANP), bobot faktor digunakan untuk mengevaluasi risiko dengan matriks risiko. Berdasarkan hasil pengukuran dan evaluasi risiko ditemukan bahwa tingkat risiko pipa dalam keadaan sedang, dimana faktor *internal corrosion* memiliki bobot tertinggi. Dengan metode *Risk Based Inspection* (RBI) dirumuskan strategi pemeliharaan berupa *intelligent pigging*, *pigging*, *injection chemical inhibitor*, dan *injection chemical biocide* sehingga diperlukan biaya sebesar \$157,670 per tahun untuk melakukan upaya preventif tersebut.

Kata kunci — ANP, CFA, kebocoran *pipeline*, manajemen risiko, RBI

I. PENDAHULUAN

KEBOCORAN *pipeline* penyalur menjadi permasalahan utama dalam proses penyaluran minyak karena fenomena tersebut memberikan dampak yang besar, seperti kerugian material, terhentinya operasi, terjadi pencemaran lingkungan, berhentinya proses distribusi ke konsumen, citra perusahaan yang rusak, dan masa pemulihan yang lama. PT. X merupakan salah satu perusahaan energi terbesar di Indonesia yang bergerak dalam aspek industri minyak dan gas, termasuk eksplorasi dan produksi. PT. X beroperasi di 13 lapangan di Kalimantan Timur dan 1 lapangan di Teluk Makasar, dengan luas daerah operasi mencapai 6,6 juta are atau 27.000 km². Sebagai perusahaan dengan produksi minyak yang besar, yaitu 3.102.500 barrel tiap tahun, perusahaan perlu melakukan

upaya manajemen risiko untuk mengurangi terjadinya dampak/risiko akibat kebocoran *pipeline*.

Kent Muhlbauer menyebutkan ada 4 faktor utama penyebab kebocoran *pipeline* [1]. Diantaranya adalah faktor adanya pihak ketiga (*third party damage index*), faktor desain *pipeline* (*design index*), faktor korosi (*corrosion index*), dan kegagalan operasi (*incorrect operation index*). Penentuan variabel dalam penelitian ini juga mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [2]. Penelitian tersebut menggunakan model yang dirumuskan oleh Kent Muhlbauer dengan variabel indikator dari tiap variabel laten berupa *minimum depth of cover*, *above ground facilities*, *line locating*, *public education program*, dan *row condition* sebagai indikator dari variabel *third party damage index*. Indikator *atmospheric*, *internal corrosion*, dan *fluid characteristic* digunakan untuk menjelaskan variabel *corrosion index*. *design index* dijelaskan oleh indikator *safety factor*, *fatigue*, dan *surge potential*, sedangkan *incorrect operation index* dijelaskan oleh indikator *operation* dan *maintenance*.

Dalam proses penentuan nilai (*score*) dari risiko kebocoran *pipeline* diperlukan bobot dari tiap-tiap faktor. Selama ini di PT. X, pembobotan faktor penyebab kebocoran *pipeline* selama ini masih menggunakan bobot yang diatur oleh manager pemeliharaan *pipeline*. Hal ini mengindikasikan hasil tingkat risiko pemeliharaan yang relatif bersifat subjektif. Penelitian ini menggunakan *Analytical Network Process* (ANP) untuk menentukan bobot penyebab kebocoran *pipeline*. Metode ini merupakan penyempurnaan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [3] dan [4] yang menggunakan AHP.

Strategi pemeliharaan ditentukan berdasarkan metode *Risk Based Inspection* (RBI) dengan mengacu pada faktor penyebab kebocoran *pipeline* yang dirumuskan oleh Kent Muhlbauer [1]. Indikator-indikator yang digunakan dalam menjelaskan variabel dimodifikasi dengan hasil penelitian dari Darmapala dan Moses L. Singgih [2]. Pada awal penelitian dilakukan *Confirmatory Factor Analysis* untuk mengetahui apakah faktor dan indikator yang digunakan reliabel untuk diterapkan di PT. X. Setelah didapatkan indikator yang valid, dilakukan perhitungan bobot faktor dengan menggunakan ANP. Bobot faktor digunakan untuk menghitung nilai risiko. Nilai risiko divisualisasikan dalam bentuk matriks risiko untuk memudahkan peneliti dalam mengukur tingkat risiko *pipeline*. Dengan demikian, peneliti dapat membantu pihak perusahaan

untuk merancang strategi pemeliharaan berdasarkan tingkat risiko guna mencegah terjadinya kebocoran *pipeline*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Asumsi Multivariat Normal

Pengujian ini dapat dilakukan dengan langkah menghitung nilai koefisien korelasi kemudian membandingkan nilai koefisien korelasi tersebut dengan tabel *Critical Point for the Q-Q Plot Correlation Coefficient Test for Normality*.

Hipotesis yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut.

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$r_Q = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{(j)} - \bar{x})(q_{(j)} - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{(j)} - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (q_{(j)} - \bar{q})^2}} \text{ dengan } x_{(j)} = d_j^2 \quad (1)$$

Daerah Kritis : Tolak H_0 jika $r_Q < r_{n,\alpha}$ dimana r_Q adalah koefisien korelasi antara d_j^2 (*square distance*) dan $q_{c,p} \left(\frac{j-1/2}{n} \right)$ (*quantil Chi-Square*) sedangkan $r_{n,\alpha}$ merupakan nilai kritis untuk uji koefisien korelasi normalitas *Q-Q plot* dengan level signifikan tertentu. [5]

B. Confirmatory Factor Analysis

Pada *First-Order Confirmatory Factor Analysis* suatu variabel laten diukur berdasarkan beberapa indikator yang dapat diukur secara langsung. Persamaan 2.7 menunjukkan model umum *First-Order CFA* [2]

$$\mathbf{X} = \mathbf{\Lambda}_x \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta} \quad (2)$$

dengan,

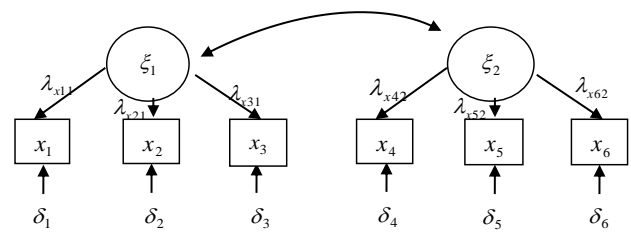
\mathbf{X} merupakan vektor bagi variabel indikator, berukuran $q \times 1$

$\mathbf{\Lambda}_x$ (*lambda x*), merupakan matriks bagi faktor *loading* (λ) atau koefisien yang menunjukkan hubungan x_i dengan ξ_i , berukuran $q \times n$

$\boldsymbol{\xi}$ (*ksi*), merupakan vektor bagi variabel laten, berukuran $n \times 1$

$\boldsymbol{\delta}$ (*delta*), merupakan vektor bagi kesalahan pengukuran variabel indikator, berukuran $q \times 1$.

Asumsi yang mengikuti Persamaan 2.7 adalah rata-rata kesalahan pengukuran sama dengan 0, $E(\boldsymbol{\delta}) = 0$ serta antara $\boldsymbol{\xi}$ dan $\boldsymbol{\delta}$ tidak berkorelasi, $E(\boldsymbol{\xi}\boldsymbol{\delta}^T) = 0$. Ketika \mathbf{X} diukur sebagai simpangan baku dari masing-masing rata-ratanya, maka matriks kovarians dari \mathbf{X} ditulis sebagai fungsi θ dan direpresentasi sebagai $\Sigma(\theta)$ adalah sebagai berikut (Bollen, 1989). Adapun model *First-Order CFA* ditunjukkan pada Gambar 1, dengan ilustrasi $q = 6$.



Gambar 1 First-Order CFA

$$\begin{aligned} \Sigma(\theta) &= E(\mathbf{X}\mathbf{X}^T) \\ &= E[(\mathbf{\Lambda}_x \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta})(\boldsymbol{\xi}^T \mathbf{\Lambda}_x^T + \boldsymbol{\delta}^T)] \\ &= E\left[(\mathbf{\Lambda}_x \boldsymbol{\xi} \boldsymbol{\xi}^T \mathbf{\Lambda}_x^T + \boldsymbol{\delta} \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{\Lambda}_x^T + \mathbf{\Lambda}_x \boldsymbol{\xi} \boldsymbol{\delta}^T + \boldsymbol{\delta} \boldsymbol{\delta}^T) \right] \\ &= \mathbf{\Lambda}_x E(\boldsymbol{\xi} \boldsymbol{\xi}^T) \mathbf{\Lambda}_x^T + E(\boldsymbol{\delta} \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{\Lambda}_x^T + \mathbf{\Lambda}_x \boldsymbol{\xi} \boldsymbol{\delta}^T) + E(\boldsymbol{\delta} \boldsymbol{\delta}^T) \\ &= \mathbf{\Lambda}_x E(\boldsymbol{\xi} \boldsymbol{\xi}^T) \mathbf{\Lambda}_x^T + 0 + E(\boldsymbol{\delta} \boldsymbol{\delta}^T) \\ &= \mathbf{\Lambda}_x E(\boldsymbol{\xi} \boldsymbol{\xi}^T) \mathbf{\Lambda}_x^T + \boldsymbol{\Theta}_\delta \\ &= \mathbf{\Lambda}_x \boldsymbol{\Phi} \mathbf{\Lambda}_x^T + \boldsymbol{\Theta}_\delta \end{aligned} \quad (3)$$

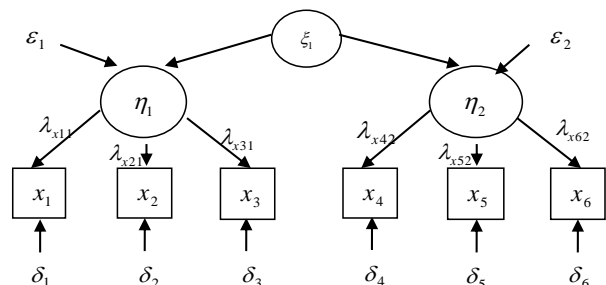
dimana $\boldsymbol{\Phi}$ (*phi*) adalah matriks kovarians antar variabel laten $\boldsymbol{\xi}$ berukuran $n \times n$ dan $\boldsymbol{\Theta}_\delta$ adalah matriks kovarians untuk *error* pengukuran $\boldsymbol{\delta}$ berukuran $q \times q$.

First-Order CFA, ditentukan oleh lima elemen, yaitu: variabel laten ($\boldsymbol{\xi}$), variabel yang diukur atau biasa disebut variabel indikator (x), *loading factor* (λ) pada setiap indikator, hubungan konstruk ($\boldsymbol{\Phi}$), dan kesalahan pengukuran untuk setiap indikator ($\boldsymbol{\delta}$). Jika model pada Gambar 2.1 diterjemahkan ke dalam bentuk matriks, maka model tersebut menjadi seperti berikut.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & 0 \\ \lambda_{21} & 0 \\ \lambda_{31} & 0 \\ 0 & \lambda_{42} \\ 0 & \lambda_{52} \\ 0 & \lambda_{62} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \end{bmatrix} \quad (4)$$

C. Second-Order CFA

Pada *Second-Order Confirmatory Factor Analysis* suatu variabel laten memiliki beberapa indikator-indikator dimana indikator-indikator tersebut tidak dapat diukur secara langsung, melainkan melalui variabel laten lain. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 2 berikut (Ilustrasi $q = 6$).



Gambar 2 Second-Order CFA

Persamaan hubungan antara *First-Order Confirmatory Factor Analysis* dan *Second-Order Confirmatory Factor Analysis* ditunjukkan pada persamaan berikut [7].

$$\eta = \mathbf{B}\eta + \mathbf{\Gamma}\xi + \zeta \tag{5}$$

$$\mathbf{X} = \mathbf{\Lambda}_x\eta + \varepsilon \tag{6}$$

dengan,

\mathbf{B} merupakan koefisien *loading*

$\mathbf{\Lambda}_x$ dan $\mathbf{\Gamma}$ merupakan matriks *first* dan *second order loading factor*

ξ merupakan random vektor variabel laten

ζ merupakan vektor variabel tunggal (*unique*) untuk η

ε merupakan residual

Hubungan antara *first* dan *second order* diberikan pada [6]. $\mathbf{B}\eta$ dihilangkan ketika hanya ada faktor *second order* dan tidak satupun *first order* yang memiliki hubungan langsung satu dengan lainnya sehingga didapatkan model persamaan *Second-Order CFA* adalah sebagai berikut.

$$\eta = \mathbf{\Gamma}\xi + \zeta \tag{7}$$

D. Analytical Network Process

Secara umum langkah-langkah yang harus dilakukan dalam menggunakan ANP adalah:

1. Mendefinisikan masalah dan menentukan kriteria solusi yang diinginkan.
2. Membuat matriks perbandingan berpasangan yang menggambarkan kontribusi atau pengaruh setiap elemen atas setiap kriteria. Perbandingan dilakukan berdasarkan penilaian dari pengambil keputusan dengan menilai tingkat kepentingan suatu elemen.

Skala perbandingan yang digunakan mengikuti skala Saaty sebagai berikut.

Tabel 1 Skala Saaty 1-9

Tingkat	Keterangan
1	Kedua elemen sama pentingnya (<i>equally importance</i>)
3	Elemen satu sedikit lebih penting daripada elemen lainnya (<i>slightly more importance</i>)
5	Elemen satu lebih penting daripada elemen lainnya (<i>materially more importance</i>)
7	Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen lainnya (<i>significantly more importance</i>)
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya (<i>absolute importance</i>)
2,4,6,8	Nilai antara dua pertimbangan yang berdekatan (<i>compromise values</i>)

3. Pada proses AHP dengan elemen lebih dari satu seringkali terjadi perbedaan pendapat dalam pemberian kepentingan alternatif antareleman, sehingga perlu digunakan rataan geometrik (*geometrik mean*) untuk menggabungkan pendapat responden saat memasukkan nilai kepentingan ke dalam matriks. Rumus rataan geometrik adalah sebagai berikut.

$$Rataan\ Geometris = \sqrt[n]{R_1 \times \dots \times R_n} \tag{8}$$

dimana R adalah jawaban responden dan n adalah jumlah responden.

4. Setelah mengumpulkan semua data perbandingan berpasangan dan memasukkan nilai-nilai kebalikannya serta nilai satu di sepanjang diagonal utama, prioritas masing-masing kriteria dicari dan konsistensi diuji.
5. Menentukan *eigenvector* dari matriks yang telah dibuat pada langkah keempat.
6. Mengulangi langkah 3, 4, dan 5 untuk semua kriteria.
7. Membuat *unweighted supermatrix* dengan cara memasukkan semua *eigen vector* yang telah dihitung pada langkah 5 ke dalam sebuah super matriks.
8. Membuat *weighted supermatrix* dengan cara melakukan perkalian setiap isi n *weighted supermatrix* terhadap matriks perbandingan kriteria (*cluster matrix*).
9. Membuat *limiting supermatrix* dengan cara memangkatkan super matriks secara terus menerus hingga angka disetiap kolom dalam satu baris sama besar, setelah itu lakukan normalisasi terhadap *limiting supermatrix*.
10. Mengambil nilai dari alternatif yang dibandingkan kemudian dinormalisasi untuk mengetahui hasil akhir perhitungan.
11. Memeriksa konsistensi, rasio konsistensi tersebut harus 10 persen atau kurang. Jika nilainya lebih dari 10%, maka penilaian data keputusan harus diperbaiki.

Dalam memeriksa konsistensi diperlukan ideks konsistensi tang diperoleh dari persamaan berikut.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \tag{9}$$

dimana CI adalah indeks konsistensi, λ adalah nilai eigen terbesar dari matriks berordo n , dan n adalah orde matriks. Sedangkan untuk menghitung nilai rasio konsistensi (CR) digunakan rumus.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{10}$$

Nilai RI (*random index*) diperoleh dari tabel berikut.

Tabel 2 Nilai *Random Index (RI)*

n	1	2	3	4	5
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12

Jika tidak memenuhi dengan $CR < 0,10$, maka penilaian harus diulang kembali karena pendapat responden tidak konsisten [8].

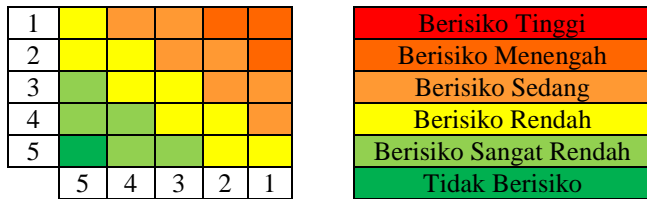
E. Risk Based Inspection

Metode RBI Pada metode ini dilakukan penilaian risiko yang didefinisikan sebagai perkalian antara *Probability of Failure (PoF)* atau *likelihood* dengan *Consequence of Failure (CoF)* atau *consequence/severity* [9]. Persamaan yang digunakan adalah :

$$Risk = PoF \times CoF$$

Risiko yang didapatkan dari hasil perhitungan tersebut kemudian dijadikan dasar dalam membuat matriks risiko. Matriks risiko merupakan cara yang efektif dalam menunjukkan distribusi risiko untuk komponen yang berbeda secara visual.

Keterangan :



Gambar 3 Matriks Risiko

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang diambil dari hasil wawancara dengan 30 responden berupa pegawai yang menangani langsung objek penelitian dan dipilih 4 pendapat ahli (*expert judgement*), diantaranya adalah:

Tabel 3 Expert Judgements

Nama	Posisi
Bayu C. Hervianto	Field Engineer
Cristy Sicilia S.	Facility Engineer Pipeline
Joko Purwono	Attaka Operation Field Engineer
Mobin	Facility Inspection and Certification Specialist

B. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini mengacu pada konsep manajemen risiko *pipeline* Kent Muhlbauer antara lain :

Tabel 4 Variabel Penelitian

Variabel Laten	Indikator
Third Party Damage Index (TPDI)	Minimum Depth of Cover (MDC)
	Above Ground Facilities (AGF)
	Line Locating (LL)
	Public Education Program (PEP)
	ROW Condition (ROW)
Design Index (DI)	Safety Factor (SF)
	Fatigue (F)
	Surge Potential (SP)
Corrosion Index (CI)	Atmospheric (Ath)
	Internal Corossion (IC)
	Fluid Characteristic (FC)
Incorrect Operation Index (IOI)	Operation (O)
	Maintenance (M)

Dalam setiap indikator diberikan skala likert 1-5 yang terdiri dari kondisi sangat kurang baik hingga sangat baik dengan kategori terlampir. Selain itu, diberikan pula pertanyaan tentang perbandingan berpasangan dalam skala Saaty 1-9 yang digunakan dalam penentuan bobot dengan metode ANP.

C. Langkah Analisis

Pada penelitian ini ada beberapa langkah tujuan yang ingin dicapai, sehingga perlu dilakukan tahapan analisis sebagai berikut.

1. Identifikasi risiko dilakukan dengan melakukan analisis *Confirmatory Factor Analisis* pada data kondisi

pipeline berskala Likert 1-5 yaitu dengan mengevaluasi indikator penilaian yang unidimensional terhadap variabel penyebab kebocoran *pipeline* melalui tahapan berikut.

- a. Melakukan uji asumsi normal multivariat data.
 - b. Melakukan identifikasi model berdasarkan perbandingan jumlah parameter yang diestimasi dengan jumlah data yang diketahui.
 - c. Menduga parameter-parameter model dengan menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE).
 - d. Menguji kecocokan antara model dengan data menggunakan kriteria *Goodness of Fit* (GoF), jika belum sesuai maka melakukan modifikasi model.
 - e. Melakukan pengujian signifikansi masing-masing parameter variabel laten menggunakan nilai *loading standardized*.
2. Evaluasi dan pengukuran risiko dilakukan dengan menghitung bobot maksimal dari setiap faktor dan subfaktor dari indeks sebagai kriteria pembobotan dengan menggunakan metode ANP dari data perbandingan berpasangan berskala Saaty 1-9.
 - a. Membuat matriks perbandingan berpasangan yang menggambarkan kontribusi atau pengaruh setiap elemen atas setiap kriteria.
 - b. Memasukkan nilai-nilai kebalikannya serta nilai satu di sepanjang diagonal utama, prioritas masing-masing kriteria dicari dan konsistensi diuji.
 - c. Menentukan *eigenvector* dari matriks yang telah dibuat pada langkah ketiga.
 - d. Mengulangi langkah 3, 4, dan 5 untuk semua kriteria.
 - e. Membuat *unweighted super matrix* dengan cara memasukkan semua *eigenvector* yang telah dihitung pada langkah 5 ke dalam sebuah super matriks.
 - f. Membuat *weighted super matrix* dengan cara melakukan perkalian setiap isi *unweighted supermatrix* terhadap matriks perbandingan kriteria (*cluster matrix*).
 - g. Membuat *limiting supermatrix* dengan cara memangkatkan super matriks secara terus menerus hingga angka disetiap kolom dalam satu baris sama besar, setelah itu lakukan normalisasi terhadap *limiting supermatrix*.
 - h. Mengambil nilai dari alternatif yang dibandingkan kemudian dinormalisasi untuk mengetahui hasil akhir perhitungan.
 - i. Memeriksa konsistensi, rasio konsistensi tersebut harus 10 persen atau kurang. Jika nilainya lebih dari 10%, maka penilaian data keputusan harus diperbaiki.

Setelah diperoleh bobot tiap faktor kemudian dihitung tingkat risiko untuk tiap faktor dengan persamaan.

$$\text{Nilai untuk tiap faktor (score)} = \text{bobot} \times \text{nilai rating}$$

Nilai *score* digunakan untuk menentukan tingkat risiko berdasarkan matriks risiko, dimana risiko diperoleh dari perkalian *PoF* dan *CoF*.

3. Pengelolaan risiko dilakukan dengan merumuskan strategi pemeliharaan yang harus dilakukan berdasarkan kondisi tingkat risiko *pipeline* yang diperoleh serta menghitung biaya perbaikan yang harus dikeluarkan jika dilakukan proses inspeksi dengan menggunakan *Risk Based Inspection*.
4. Menarik kesimpulan.
- 5.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Statistika Deskriptif

Data dalam penelitian ini diperoleh dari hasil wawancara dengan 30 orang responden. Rata-rata usia responden adalah 38 tahun dengan rata-rata lama pekerjaan 12 tahun. Dari hasil pengukuran kondisi *pipeline* 18 inchi pada jalur Attaka – Tanjung Santan berdasarkan 17 variabel yang telah ditentukan dengan menggunakan skala Likert 1-5. Berikut merupakan statistika deskriptif kondisi *pipeline* 18 inchi jalur Attaka – Tanjung Santan di PT.X. Dari hasil pengukuran dengan perhitungan nilai rata-rata tiap faktor, ditemukan variabel MDC, AGF, Ath, SF, SP, dan berada pada kondisi baik, sedangkan variabel LL, PEP, ROW, IC, FC, F, dan M berada pada kondisi sedang.

B. Pengujian Normal Multivariat

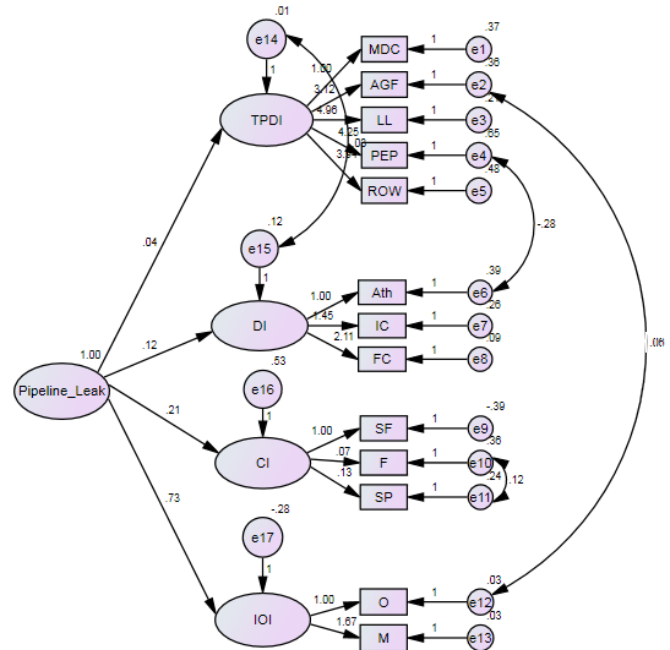
Proses identifikasi risiko dalam kasus ini dilakukan dengan menggunakan CFA. Sebelum dilakukan analisis multivariat dengan CFA, perlu dilakukan pengujian asumsi normal multivariat. Hasil pengujian normal multivariat dengan koefisien korelasi menunjukkan bahwa seluruh variabel berdistribusi normal multivariat dengan taraf signifikansi 0,01.

C. Confirmatory Factor Analisis (CFA)

Dari hasil analisis unidimensional variabel, besar kontribusi variabel indikator MDC dalam mengukur variabel laten TPDI adalah sebesar 0,197 atau 19,7 persen. Kontribusi MDC memiliki nilai yang kecil dibandingkan dengan variabel AGF yang menjelaskan variabel laten TPDI dengan kontribusi 59,8 persen, variabel LL sebesar 90,9 persen, variabel PEP sebesar 51,8 persen, dan variabel ROW sebesar 45,5 persen. Suatu indikator dikatakan signifikan berpengaruh terhadap variabel laten apabila memiliki kontribusi lebih dari 50 persen. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa indikator yang berpengaruh signifikan terhadap variabel laten TPDI adalah AGF, LL, dan PEP.

Pada variabel DI, kontribusi variabel indikator SF dalam mengukur variabel laten DI adalah sebesar 0,407 atau 40,7 persen. Kontribusi variabel F sebesar 39,3 persen dan variabel SP sebesar 87,7 persen. Dengan demikian, variabel indikator SP memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel laten DI. Sementara pada variabel CI, kontribusi variabel indikator Ath dalam mengukur variabel laten CI adalah sebesar 0,321 atau 32,1 persen. Kontribusi variabel IC sebesar 54,9 persen dan variabel FC sebesar 125,5 persen. Sedangkan pada variabel IOI, kontribusi variabel tidak dapat terbentuk sehingga perlu dilakukan *second order* CFA. Berdasarkan hasil *second order* CFA diperlukan modifikasi model dengan

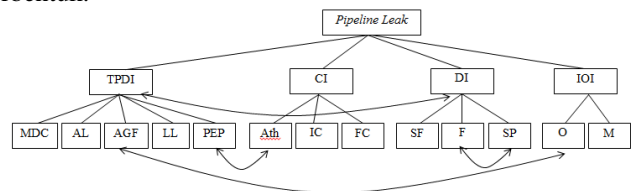
memperhatikan hubungan faktor *inner* dan *outer dependence*. Variabel yang memiliki hubungan dalam mempengaruhi kebocoran pipeline adalah AGF dengan O, PEP dengan Ath, F dengan SP, dan TPDI dengan DI seperti yang ditunjukkan PADA Gambar 4.



Gambar 4 Path Diagram Second Order CFA

D. Analytical Network Process

Kriteria dari penyebab kebocoran *pipeline* terdiri dari TPDI, CI, DI, dan IOI. Subkriteria dari TPDI terdiri dari MDC, AL, AG, LL, dan PEP. CI memiliki subkriteria Ath, IC, dan FC. DI memiliki subkriteria SF, F, dan SP. IOI memiliki subkriteria O dan M. Berikut merupakan struktur hierarki yang terbentuk.



Gambar 5 Struktur Hierarki ANP

Data yang digunakan merupakan matriks perbandingan berpasangan dengan skala Saaty 1-9 yang diperoleh dari wawancara kepada 4 orang *expert judgement*. Diperoleh hasil bobot faktor sebagai berikut.

Tabel 5 Bobot Hasil Analisis dengan ANP

Variabel	Bobot Faktor	Bobot Sub-faktor	Bobot Global
MDC	0,19414	0,22992	0,04463667
AGF		0,14594	0,02833279
LL		0,23383	0,04539576
PEP		0,13017	0,02527120
ROW		0,26014	0,05050358
Ath	0,34612	0,3178	0,10999694
IC		0,47846	0,16560458
FC		0,20375	0,07052195

SF	0,34719	0,29418	0,10213635
F		0,24323	0,08444702
SP		0,46259	0,16060662
O	0,11255	0,39243	0,04416800
M		0,60757	0,06838200

Dari bobot faktor hasil perhitungan dengan ANP diperoleh hasil bahwa faktor DI memiliki bobot sebesar 0,34719 dalam memengaruhi kebocoran *pipeline*, kemudian diikuti dengan bobot CI, TPDI, dan IOI. Bobot faktor tersebut kemudian dikalikan sehingga ditemukan bobot global yang digunakan untuk menghitung nilai *PoF* dan *CoF*. Nilai *PoF* yang diperoleh adalah sebesar 3,339051, sedangkan nilai *CoF* sebesar 2. Hasil perkalian *PoF* dan *CoF* menjadi dasar dalam membuat matriks risiko yang ditampilkan pada Gambar 5.

CoF	1					
	2		X			
	3					
	4					
	5					
		5	4	3	2	1
		<i>PoF</i>				

Gambar 6. Matriks Risiko

Gambar 6 menunjukkan matriks risiko yang terbentuk dari nilai *PoF* dan *CoF*. Dari matriks risiko tersebut terlihat bahwa *pipeline* 18 inchi jalur Attaka – Tanjung Santan berada pada kondisi berisiko sedang sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai faktor utama penyebab kebocoran *pipeline*. Dari bobot global hasil perkalian bobot faktor dengan bobot sub-faktor pada ANP yang disajikan dalam Tabel 4.3 diperoleh faktor *internal corrosion* memiliki pengaruh yang paling besar dalam memengaruhi kebocoran *pipeline*. Berdasarkan API RBI 581, beberapa strategi yang harus dilakukan jika ditemukan faktor *internal corrosion* sebagai faktor utama penyebab kebocoran *pipeline* adalah dengan melakukan *intelligent pigging*, *pigging*, *injection chemical inhibitor*, dan *injection chemical biocide*.

Biaya yang diperlukan untuk melakukan *intelligent pigging* adalah \$30,000 dalam 5 tahun, *pigging* memerlukan biaya \$62,400 pertahun, biaya *injection chemical inhibitor* \$46,720, dan *injection chemical biocide* \$18,550 sehingga total biaya untuk melakukan upaya prventif tersebut adalah \$157,670. Sementara total biaya yang diperlukan untuk melakukan upaya perbaikan jika terjadi kerusakan adalah \$2,455,925 untuk satu kali terjadi kebocoran *pipeline*. Jika dalam setiap 5 tahun terjadi kerusakan sebanyak 1 kali, maka biaya yang dikeluarkan adalah \$2,455,925. Sementara, jika dilakukan upaya preventif, maka biaya total yang dikeluarkan adalah sebesar \$788,350.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari identifikasi risiko dengan menggunakan CFA memberikan hasil bahwa variabel yang memiliki hubungan dalam mempengaruhi kebocoran *pipeline* adalah AGF dengan O, PEP dengan Ath, F dengan SP, dan TPDI dengan DI.

Evaluasi dan pengukuran faktor penyebab kebocoran *pipeline* dilakukan dengan pembobotan faktor menggunakan metode ANP. Hasil pembobotan menyebutkan faktor *internal corrosion* memiliki bobot faktor tertinggi, yaitu sebesar 0,16560458. Bobot dari analisis dengan ANP digunakan untuk menghitung nilai *PoF* dan *CoF* dalam membentuk matriks risiko. Berdasarkan hasil pengukuran dan evaluasi risiko didapatkan bahwa tingkat risiko dari *pipeline* tersebut berada pada kondisi sedang.

Pengelolaan risiko dilakukan dengan metode RBI untuk menentukan strategi pemeliharaan *pipeline*. Berdasarkan API RBI 581, beberapa strategi yang harus dilakukan jika ditemukan faktor *internal corrosion* sebagai faktor utama penyebab kebocoran *pipeline* adalah dengan melakukan *intelligent pigging*, *pigging*, *injection chemical inhibitor*, dan *injection chemical biocide*. Biaya yang harus dikeluarkan apabila terjadi kebocoran *pipeline* tanpa dilakukan upaya preventif adalah sebesar \$2,455,925, sedangkan upaya preventif yang dilakukan per tahun membutuhkan biaya sebesar \$157,670. Jika dalam setiap 5 tahun terjadi kerusakan sebanyak 1 kali, maka biaya yang dikeluarkan adalah \$2,455,925. Sementara, biaya total jika dilakukan upaya preventif adalah sebesar \$788,350.

Pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan sampel sebanyak 100 – 200 responden untuk mendapatkan hasil yang lebih baik karena keakuratan hasil *Confirmatory Factor Analysis* dengan estimasi parameter menggunakan *Maximum Likelihood* akan mendapatkan hasil yang baik dan tidak bias pada jumlah sampel tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhlbauer, W.K. 2004. *Pipeline risk management manual, 3rd edition, Elsevier Inc. (Gulf professional publishing as an imprint of Elsevier).*
- [2] Darmapala dan Singgih, Moses L. 2012. *Risk Based Maintenance (RBM) untuk Natural Gas Pipeline pada Perusahaan X dengan Menggunakan Metode Kombinasi AHP-Index Model.* Surabaya : ITS.
- [3] Dawotula, A W, Gelder, P H A J M dan J.K. Vrijling, J K. 2010. *Multi Criteria Decision Analysis framework for risk management of oil and gas pipelines, Reliability, Risk and Safety – Ale, Papazoglou & Zio (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-60427-7.*
- [4] Shifiq, N. dan Silvianita. 2010. *Prioritizing the pipeline maintenance approach using Analytical Hierarchical Process.* Journal of Praise Worthy Prize vol 4, no. 3, page 346-352.
- [5] Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (Sixth ed.). United States of America: Pearson Education, Inc.
- [6] Bollen, K. (1989). *Structural Equations with Latent Variabels.* New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Brown, T. A. (2006). *Confirmatory Factor Analysis for Applied Research.* New York: The Guilford Press.
- [8] Saaty, TL. 2002. *The Analytic Hierarchy and Analytic Network Measurement Processes: Applications to Decisions under Risk.* European Journal of Pure and Applied Mathematics, vol 1 no 1, page 122-196.
- [9] American Petroleum Insitute. 2002. *Risk Based Inspection API RP 581, 1st edition.*