

ANALISA KEHANDALAN PADA PIPING INTAKE DI PERUSAHAAN PENYEDIAAN AIR MINUM DENGAN PENDEKATAN RELIABILITY BLOCK DIAGRAM DAN REMAINING LIFE TIME

Faza Aghnat Samsul¹, Gunawan Dwi Haryadi², Yusuf Umardani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: fazasamsul2@gmail.com

Abstrak

Salah Satu perusahaan air minum di Kota Cilacap merupakan perusahaan yang melayani kebutuhan air minum di Kota Cilacap. Dalam dunia industri pengolahan air sangat banyak sekali terjadinya proses korosi yang disebabkan oleh fenomena alam dan faktor lingkungan sehingga menyebabkan timbulnya korosi, oleh karena itu, dibutuhkan penelitian terhadap assessment *Piping intake*. Pada penelitian ini akan dilakukan assessment terhadap kondisi visual, sisa umur pakai *piping intake* mengetahui jenis korosi, dan analisis laju korosi yang terjadi di *piping intake* serta mengetahui *reliability* dari komponen *piping intake* dengan menggunakan pendekatan *reliability block diagram*. Pengambilan data yang digunakan adalah ketebalan *piping intake* yang telah beroperasi selama 2 tahun dengan mengambil 12 titik yang sudah ditentukan dengan alat *ultrasonic thickness measurement*. Hasil dari analisis pengurangan ketebalan awal dan actual didapatkannya nilai laju korosi sebesar 0,485 mm/tahun dan sisa umur pakai 10 tahun. Keandalan komponen yang paling kritis yaitu elbow No 1 45° dengan nilai keandalan 89,5%

Kata Kunci: korosi; *piping intake*; *reliability*; sisa umur; *ultrasonic thickness measurement*

Abstract

The P.T. Nindya Tirta Unggul in Cilacap City is a company that serves the drinking water needs in Cilacap. In the water treatment industry, corrosion processes occur frequently due to natural phenomena and environmental factors, leading to corrosion. Therefore, an assessment of the intake piping is necessary. This study assesses the visual condition, and remaining service life of the intake piping, identifies the type of corrosion, analyzes the corrosion rate in the intake piping, and determines the reliability of the piping components using a reliability block diagram approach. Data collection involves measuring the thickness of the intake piping, which has been in operation for 2 years, at 12 predetermined points using ultrasonic thickness measurement tools. The analysis reveals a corrosion rate of 0.485 mm/year and a remaining service life of 10 years. The most critical component in terms of reliability is Elbow No.1 (45°) with a reliability value of 89.5%.

Keywords: *corrosion; piping intake; reliability; remaining service life; ultrasonic thickness measurement*

1. Pendahuluan

P.T. Nindya Tirta Unggul Kota Cilacap merupakan perusahaan yang melayani kebutuhan air minum di Kota Cilacap. Perusahaan ini memiliki beberapa rangkaian instalasi untuk proses pengolahan air minum. Aspek keandalan sistem Instalasi Pengolahan Air (IPA) dapat kita lihat bersama dari tiga hal yakni kualitas, kuantitas dan kontinuitas air yang diproduksi, dimana kondisi tersebut dapat tercapai apabila persyaratan kondisi teknis dan non teknis dapat terpenuhi dengan baik, adapun dalam persyaratan-persyaratan tersebut terkadang sulit dipenuhi dikarenakan mengingat usia atau kondisi dari instalasi tersebut sudah tergolong sangat lama.

Piping intake merupakan komponen vital dalam sistem pengolahan air, berfungsi untuk mengambil air dari sumbernya, seperti sungai, danau, atau reservoir, dan mengalirkannya ke sistem distribusi. Dalam konteks perusahaan penyediaan air minum, *pipa intake* memainkan peran penting dalam memastikan pasokan air yang cukup dan berkualitas untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. *Piping intake* harus dirancang dengan baik untuk mengatasi berbagai tantangan, termasuk variasi kualitas air dan kondisi lingkungan. Kualitas air yang diambil dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kontaminasi, sedimentasi, dan pertumbuhan alga, yang dapat mempengaruhi performa pipa dan sistem pompa. Oleh karena itu, pemilihan material pipa yang tepat, seperti pipa baja galvanis atau PVC, serta perawatan yang rutin sangat diperlukan untuk menjaga integritas dan efisiensi sistem [1].

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya yang biasanya berjalan lambat. Peristiwa korosi sendiri merupakan proses elektrokimia, yaitu proses (perubahan/reaksi kimia) yang melibatkan adanya aliran listrik dan interaksi ion-ion dan juga antar elektron. Dimana termasuk ke dalam sel volta atau sel galvanik yang merupakan reaksi spontan. Korosi atau pengkaratan merupakan fenomena kimia pada bahan-bahan logam yang pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen. Korosi itu sendiri merupakan proses perusakan material akibat reaksi antara logam dengan lingkungannya sehingga

merugikan bagi manusia karena hal tersebut menyebabkan berkurangnya umur desain dan kekuatan suatu konstruksi, menimbulkan kebocoran dan berkurangnya mutu suatu produk serta tingginya biaya perawatan yang dikeluarkan untuk mengganti bagian yang rusak akibat konstruksi [2].

Dalam dunia industri pengolahan air, proses korosi merupakan salah satu masalah yang paling signifikan. Korosi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk fenomena alam dan kondisi lingkungan. Salah satu contoh yang menonjol adalah di P.T. Nindya Tirta Unggul Cilacap, di mana pipa isap yang berfungsi sebagai penyalur air ke kolam retensi telah mengalami korosi yang signifikan. Korosi ini disebabkan oleh kadar keasaman pH air dan laju aliran fluida, yang dapat menyebabkan kebocoran tidak terduga pada pipa. Selain itu, perubahan tekanan juga merupakan penyebab lain dari korosi pipa. Analisis laju korosi yang terjadi pada pipa NTU Cilacap sangat penting untuk menentukan sisa umur pakai pipa dan mengoptimalkan proses pergantian pipa secara berkala [3].

Pada penelitian ini, akan dilakukan assessment terhadap kondisi visual, sisa umur pakai pipa, dan elbow untuk mengetahui jenis dan pengendalian korosi yang terjadi di piping intake. Selain itu, analisis laju korosi pipa juga akan dilakukan untuk menentukan sisa umur pipa. Pengujian visual akan dilakukan dengan melihat kondisi fisik pipa, termasuk coating pipa bagian luar, serta pengukuran ketebalan aktual pipa dengan jumlah sampel data sebanyak mungkin untuk mengetahui kondisi ketebalan pipa setelah terpapar cuaca. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem pengolahan air di P.T. Nindya Tirta Unggul Cilacap.

2. Metode Penelitian

2.1 Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah mm/th (standar internasional) atau mill/year (mpy, standar British). Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy. Tabel di bawah ini adalah penggolongan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya [4].

Tabel 1. Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi

| Relative Corrosion resistance | Approximate Metric Equivalent | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|------------|------------|-----------|---------|
| | mpy | mm/year | µm/yr | nm/yr | pm/sec |
| Outstanding | < 1 | < 0.02 | < 25 | < 2 | < 1 |
| Excellent | 1 - 5 | 0.02 - 0.1 | 25 - 100 | 2 - 10 | 1 - 5 |
| Good | 5 - 20 | 0.1 - 0.5 | 100 - 500 | 10 - 50 | 5 - 20 |
| Fair | 20 - 50 | 0.5 - 1 | 500 - 1000 | 50 - 100 | 20 - 50 |
| Poor | 50 - 200 | 42125 | 1000-5000 | 150 - 500 | 50-200 |

Untuk mengetahui nilai laju korosi dan sisa umur pakai pipa tersebut diperlukan data tebal nominal, tebal aktual dan umur pakai pipa. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental dengan dibagi menjadi 3 titik yang memiliki 3 bagian pipa untuk dilakukan pengujian ketebalan aktual berdasarkan nilai yang ada dilapangan. Setelah mendapatkan data selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan Rumus perhitungan yang ada. Rumus perhitungan laju korosi (*Corrosion Rate*) [4]:

$$CR(mm/tahun) = \frac{T_{Nominal} - T_{Actual}}{Umur\ Pipa}$$

Dimana:

CR = Laju Korosi (*Corrosion Rate*) (mm/tahun)

T_{Nominal} = Tebal pipa pada pemasangan awal (mm)

T_{Actual} = Tebal pipa pada saat inspeksi (mm)

Umur pipa = Dari saat pemasangan hingga inspeksi (tahun)

2.2 Remaining Life Time

Sisa umur *piping intake*. Metodologi dalam kalkulasi yang digunakan adalah API 510. Berdasarkan API 510, maka estimasi perhitungan sisa umur pembangkit dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$RSL = \frac{T_{Actual} - T_{required}}{CR}$$

Dimana:

RSL = Sisa umur pakai pipa (tahun)

CR = Laju Korosi (*Corrosion Rate*) (mm/tahun)

T_{Actual} = Tebal pipa pada saat inspeksi (mm)

T_{required} = ketebalan yang di haruskan (mm)

T_{required} Rumus yang digunakan untuk menghitung *thickness required* adalah:

$$T_{required} = \frac{P \times D}{2 \times S \times E} + CA$$

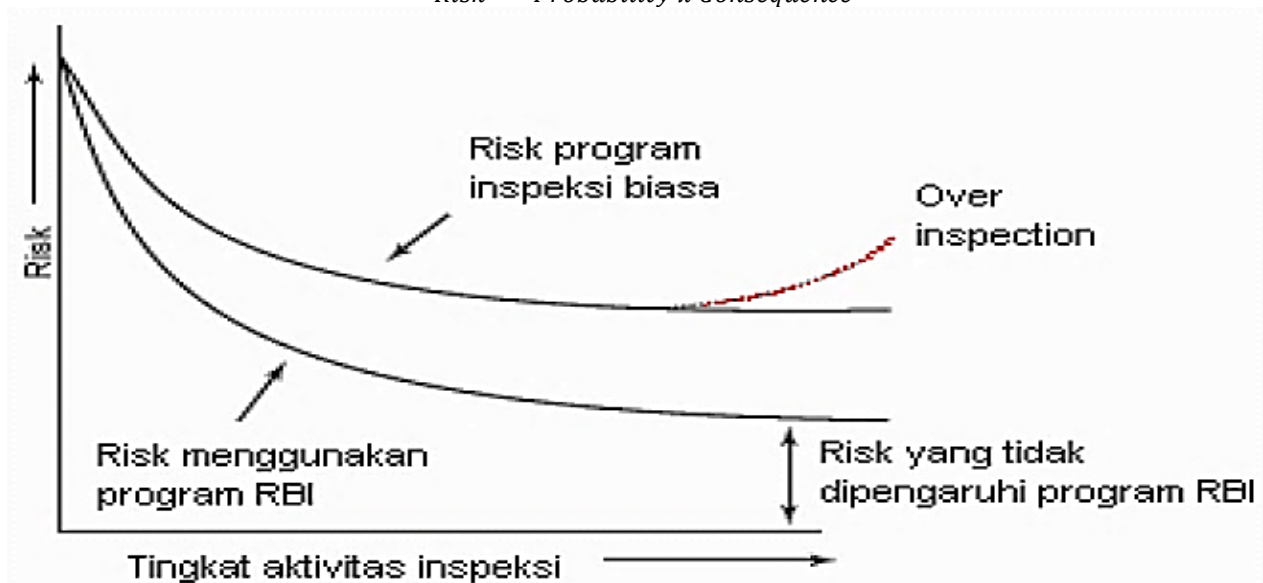
Dimana:

Tr = Thickness required (mm)
P = Tekanan desain (psi)
D = Diameter pipa (mm)
S = Allowable Stress Value (psi)
E = Joint factor
CA = Corrosion Allowance (mm)

2.3 Risk Based Inspection

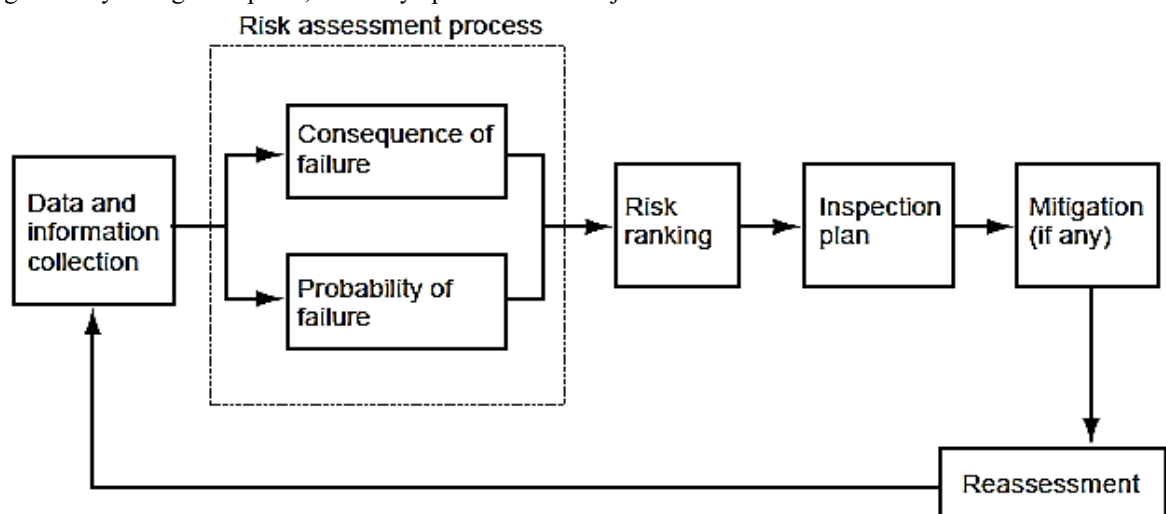
Risk Based Inspection (RBI) ialah metode penilaian serta manajemen risiko yang berfokus dalam pencegahan kehilangan penahanan alat bertekanan di fasilitas pengolahan akibat kerusakan material. Pendekatan ini mendasarkan prosedur inspeksi, penetapan prioritas, dan struktur program inspeksi terjadwal pada masalah risiko. Prosedur inspeksi dapat dioptimalkan dengan menggunakan teknik ini (Rozie & Adnyana, 2021). RBI menjabarkan risiko operasional peralatan sebagai kombinasi dari 2 parameter: konsekuensi kegagalan dan probabilitas kegagalan. Oleh karena itu, menurut RBI, risiko didefinisikan pada persamaan dibawah.

$$Risk = Probability \times Consequence$$



Gambar 1. Manajemen dengan Menggunakan RBI [9]

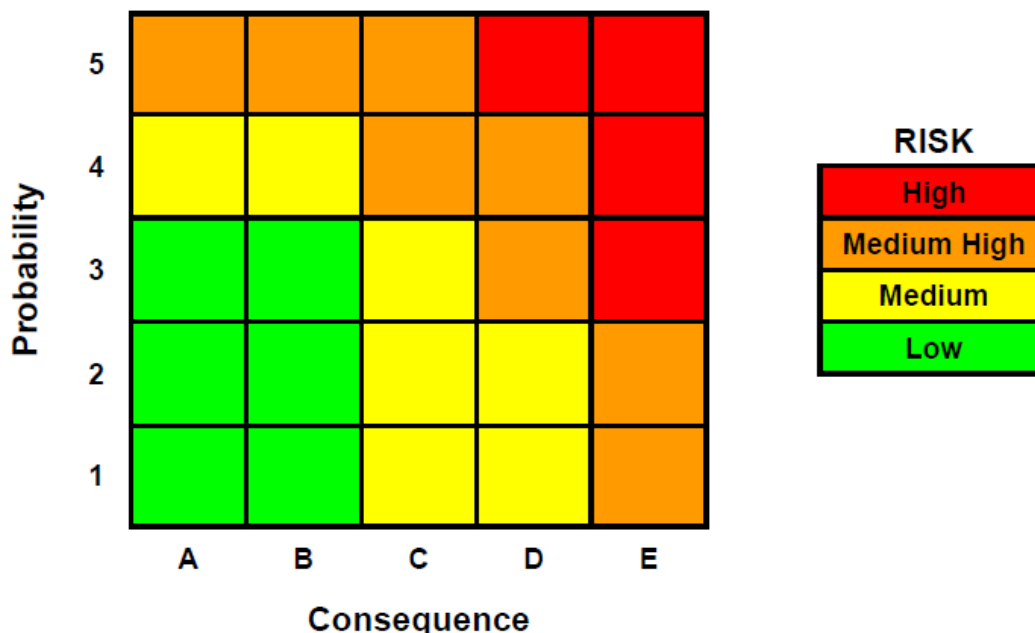
Gambar 1 menggambarkan kurva pengurangan risiko yang diharapkan dengan peningkatan tingkat dan frekuensi inspeksi. Kurva teratas menunjukkan jenis program inspeksi yang kurang optimal, sementara kurva bawah menunjukkan metode efektif tanpa biaya untuk menentukan kombinasi metode dan frekuensi inspeksi. Risiko tidak dapat sepenuhnya dihilangkan hanya dengan inspeksi; umumnya proses RBI ditunjukkan di Gambar 2.



Gambar 2. Proses Risk Based Inspection secara umum [10]

2.4 Matriks Resiko

Matriks risiko dapat dinyatakan dalam hal konsekuensi terhadap area atau konsekuensi financial. Kategori risiko yaitu tinggi, menengah tinggi, sedang dan rendah diletakkan pada kotak-kotak matriks risiko. Matriks risiko merupakan cara efektif untuk menunjukkan distribusi risiko berbagai komponen dalam unit proses tanpa nilai numerik yaitu dengan menggambarkan hasil dalam bentuk matriks. Kategori konsekuensi dan probabilitas telah disusun sedemikian rupa sehingga komponen memiliki nilai risiko tinggi terletak pada sudut kanan atas [5]. Matriks risiko dapat dilihat pada Gambar 1 dan nilai kategori probabilitas dan konsekuensi dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3



Gambar 3. Matriks Resiko API RBI 581 [6]

Tabel 2. Parameter *Probability of Failure* (PoF)

| Skala | Relative Corrosion resistance | Approximate Metric Equivalent | | | | |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|------------|------------|-----------|---------|
| | | mpy | mm/year | µm/yr | nm/yr | pm/sec |
| 1 | Outstanding | < 1 | < 0.02 | < 25 | < 2 | < 1 |
| 2 | Excellent | 1 - 5 | 0.02 - 0.1 | 25 - 100 | 2 - 10 | 1 - 5 |
| 3 | Good | 5 - 20 | 0.1 - 0.5 | 100 - 500 | 10 - 50 | 5 - 20 |
| 4 | Fair | 20 - 50 | 0.5 - 1 | 500 - 1000 | 50 - 100 | 20 - 50 |
| 5 | Poor | 50 - 200 | 42125 | 1000-5000 | 150 - 500 | 50-200 |

Tabel 3. Parameter *Consequency of Failure* (CoF)

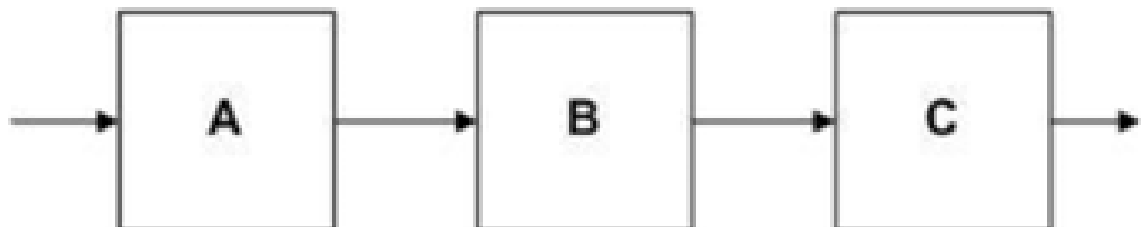
| Skala | Keparahan (CoF) | Kriteria |
|-------|-----------------|---|
| A | Sangat Ringan | <ul style="list-style-type: none"> Tidak ada korban jiwa ataupun cedera. Kerugian finansial yang ditimbulkan sangat kecil kurang dari Rp. 10 Juta atau bahkan tidak ada. Tidak menyebabkan pencemaran lingkungan. Tidak menimbulkan image jelek Perusahaan kepada masyarakat sekitar. Tidak mengganggu legalitas kelangsungan bisnis Perusahaan. |
| B | Ringan | <ul style="list-style-type: none"> Mengakibatkan cedera ringan namun bisa segera ditangani. Kerugian finansial yang ditimbulkan dari Rp. 10 sd 15 Juta. Menyebabkan pencemaran udara namun tidak sampai mencemari air. Cukup menimbulkan image jelek kepada Perusahaan dari masyarakat dalam lingkup kecil. Tidak mengganggu legalitas kelangsungan bisnis Perusahaan. |

| | | |
|---|--------------|--|
| C | Sedang | <ul style="list-style-type: none"> • Mengakibatkan cedera ringan namun bisa segera ditangani. • Kerugian finansial yang ditimbulkan diatas Rp. 20 Juta. • Bisa menyebabkan kontaminasi air baku korosi pada pipa intake dapat menyebabkan kontaminasi air baku dengan logam-logam berbahaya yang dapat membahayakan kesehatan manusia. • Cukup menimbulkan image jelek kepada Perusahaan dari masyarakat dalam lingkup desa. • Tidak sampai mengganggu legalitas kelangsungan bisnis Perusahaan. |
| D | Berat | <ul style="list-style-type: none"> • Mengakibatkan cedera yang cukup parah namun tidak sampai menyebabkan kematian atau korban jiwa. • Kerugian finansial yang ditimbulkan diatas Rp. 50 Juta. • Bisa menyebabkan kontaminasi air baku korosi pada pipa intake dapat menyebabkan kontaminasi air baku dengan logam-logam berbahaya yang dapat membahayakan kesehatan manusia. • Dampak yang signifikan terhadap proyek atau operasi tetapi tidak sampai mengancam penyelesaian proyek, mulai ada pemblokiran dan reaksi dari masyarakat luas dan media massa. • Menimbulkan akibat yang cukup signifikan terhadap keberlangsungan bisnis Perusahaan dengan penghentian operasional pengaliran gas, pengkajian kembali UKL/UPL dan Sertifikat Kelayakan Air minum. |
| E | Sangat Berat | <ul style="list-style-type: none"> • Kecelakaan yang menyebabkan kematian • Dapat mengancam proyek / operasi atau menyebabkan efek yang kurang baik pada organisasi, dengan kerugian finansial diatas Rp. 100 Juta • Sangat mencemari lingkungan baik udara, air maupun tanah karena kontaminasi gas methana atau kondensat. • Reaksi pemblokiran melibatkan aparat keamanan dengan pemberitaan yang luas pada media massa • Pencabutan Ijin Niaga dan penutupan usaha Perusahaan, pencabutan semua ijin lingkungan dan keselamatan yang berpengaruh terhadap keuangan dan politik Perusahaan di masa depan. |

2.5 Reliability Block Diagram

Rangkaian Seri

Suatu sistem dapat dimodelkan dengan susunan seri jika komponen-komponen yang ada di dalam sistem itu harus bekerja dan berfungsi semuanya agar sistem tersebut dapat menjalankan fungsinya. Artinya jika ada satu komponen mengalami kegagalan maka keseluruhan sistem akan mengalami kegagalan [7].



Gambar 4. Susunan Seri

$$R_s = R_1 R_2 R_3 \dots R_n$$

Dimana:

R_s = *Reability* seri

R_n = *Reability* spada urutan ke n

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Data

Setelah mendapatkan hasil pengujian Ultrasonic Thickness Gauge maka tahapan selanjutnya adalah melakukan perhitungan analisis data untuk menentukan laju korosi dan sisa umur pakai dari pipa *intake* tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Tabel 4. Parameter Perhitungan

| No | Parameter | Nilai |
|----|------------------------|----------|
| 1 | Umur Pipa | 2 tahun |
| 2 | Design pressure (p) | 850 Psi |
| 3 | Weld Joint Factor (E) | 1 |
| 5 | Minimum Yeld Strength | 4600 |
| 6 | Allowable Stress Value | 33.120 |
| 7 | Corrosion Allowance | 0 mm |
| 8 | Outside Diameter | 267,4 mm |
| 9 | Tebal Aktual | 9.27 mm |

Dari hasil yang telah didapatkan pada saat melakukan pengujian menggunakan Ultrasonic Thickness Gauge maka dapat dihitung laju korosi dan sisa umur pakai sebagai berikut:

Diketahui:

CR = Laju Korosi (Corrosion Rate) (mm/tahun)

T_{Nominal} = 9.27 mm

T_{Actual} = 8.40 mm

Umur pipa = 2024-2022 = 2 tahun

Ditanya = Laju Korosi (CR)

Jawab =

$$\begin{aligned}
 CR(\text{mm/tahun}) &= \frac{T_{\text{Nominal}} - T_{\text{Actual}}}{\text{Umur Pipa}} \\
 &= \frac{9.27 - 8.40}{2 \text{ Tahun}} \\
 &= \frac{0.87}{2 \text{ Tahun}} \\
 &= 0.435 \text{ mm/tahun}
 \end{aligned}$$

Thickness required mengacu pada ketebalan minimum yang diperlukan untuk suatu material agar dapat menahan tekanan, suhu, atau kondisi operasional tertentu tanpa gagal. Dalam konteks teknik, perhitungan ketebalan yang diperlukan sangat penting, terutama dalam desain pipa atau bejana tekan, untuk memastikan bahwa material tersebut cukup kuat untuk menahan tekanan internal dan eksternal serta faktor-faktor lain seperti korosi. Rumus yang digunakan untuk menghitung *thickness required* adalah [8]:

$$T_{\text{required}} = \frac{P \times D}{2 \times S \times E} + CA$$

Dimana:

Tr = Thickness required (mm)

P = Tekanan desain (psi)

D = Diameter pipa (mm)

S = Allowable Stress Value (psi)

E = Joint factor

CA = Corrosion Allowance (mm)

Ditanya = Thickness required(mm)

Jawab =

$$\begin{aligned}
 T_{\text{required}} &= \frac{P \times D}{2 \times S \times E} + CA \\
 &= \frac{850 \text{ psi} \times 267,4 \text{ mm}}{2 \times 33120 \text{ psi} \times 1} + 0 \\
 &= 3.431 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Remaining Life atau sisa umur pipa dapat diartikan sebagai toleransi equipment terhadap jenis kerusakannya.

Remaining Life ini yang akan menentukan waktu interval inspeksi selanjutnya. Rumus untuk menentukan Remaining Life ditentukan dengan persamaan:

$$RSL = \frac{T_{\text{Actual}} - T_{\text{required}}}{CR}$$

Dimana:

RSL = Sisa umur pakai pipa (tahun)

CR = Laju Korosi (*Corrosion Rate*) (mm/tahun)

T_{Actual} = Tebal pipa pada saat inspeksi (mm)

$T_{required}$ = ketebalan yang di haruskan (mm)

Dari hasil yang telah didapatkan pada perhitungan laju korosi per tahun nya maka dapat dihitung sisa umur pakai sebagai berikut:

$$RSL = \frac{T_{Actual} - T_{required}}{CR}$$

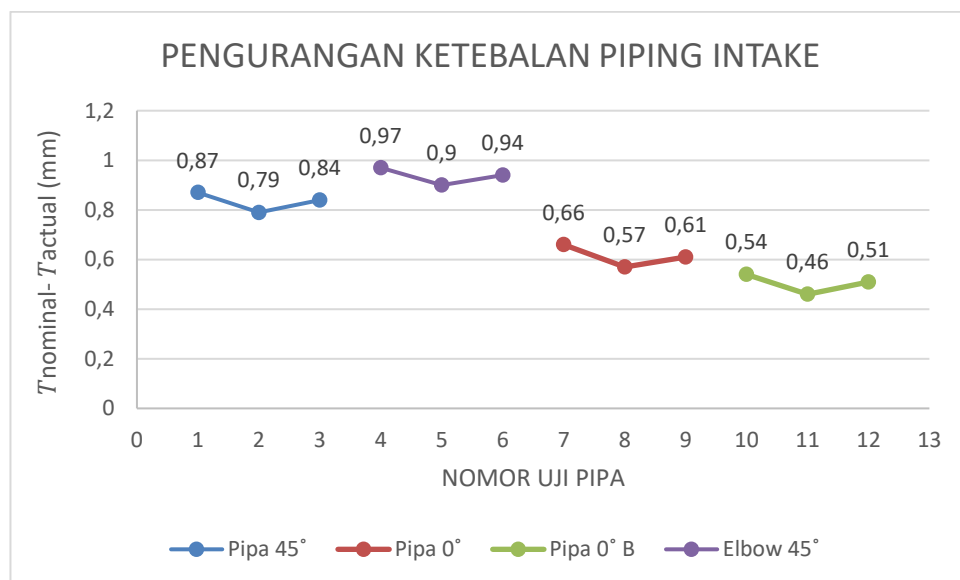
$$= \frac{8.40 \text{ mm} - 3.431 \text{ mm}}{0.435 \text{ mm/tahun}}$$

$$= 11.4 \text{ tahun}$$

Tabel 5. Laju Korosi dan Sisa Umur Pakai *Piping Intake*

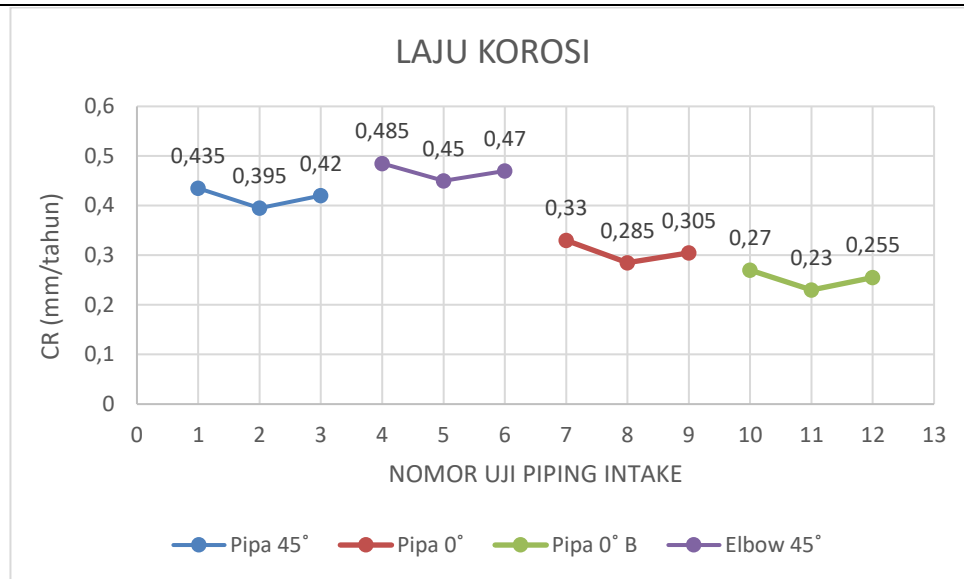
| Test point | Tebal initial (mm) | Tebal Actual (mm) | Pengurangan Ketebalan (mm) | Laju Korosi (mm/tahun) | RSL (tahun) |
|------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|------------------------|-------------|
| 1, Pipa N.1 45° | 9.27 | 8.40 | 0.87 | 0.435 | 11.4 |
| 2, Pipa N.2 45° | 9.27 | 8.48 | 0.79 | 0.395 | 12.7 |
| 3, Pipa N.3 45° | 9.27 | 8.43 | 0.84 | 0.420 | 11.9 |
| 4, Elbow N.1 45° | 9.27 | 8.30 | 0.97 | 0.485 | 10 |
| 5, Elbow N.2 45° | 9.27 | 8.37 | 0.90 | 0.450 | 10.9 |
| 6, Elbow N.3 45° | 9.27 | 8.33 | 0.94 | 0.470 | 10.4 |
| 7, Pipa N.1 0° | 9.27 | 8.61 | 0.66 | 0.330 | 15.6 |
| 8, Pipa N.2 0° | 9.27 | 8.70 | 0.57 | 0.285 | 18.5 |
| 9, Pipa N.3 0° | 9.27 | 8.66 | 0.61 | 0.305 | 17.1 |
| 10, Pipa N.1B 0° | 9.27 | 8.73 | 0.54 | 0.270 | 19.6 |
| 11, Pipa N.2B 0° | 9.27 | 8.81 | 0.46 | 0.230 | 23.4 |
| 12, Pipa N.3B 0° | 9.27 | 8.76 | 0.51 | 0.255 | 20.9 |

Berdasarkan hasil dari kegiatan inspeksi pada pipa *intake* PT Nindya Tirta Unggul tersebut bahwa ditemukan perbedaan usia pipa, pada bagian *intake* ukuran pada *elbow* dan pipa jalur lurus ukuran 10inch itu sudah berusia 2 tahun masa produksinya. Dengan usia pipa dan *elbow* yang sudah beroperasi selama 2 tahun ini dapat diketahui bahwa pipa tersebut sudah mengalami pengurangan ketebalan dari tebal nominal pipa ini, hal tersebut dikarenakan terjadinya degradasi logam atau korosi pada pipa tersebut.



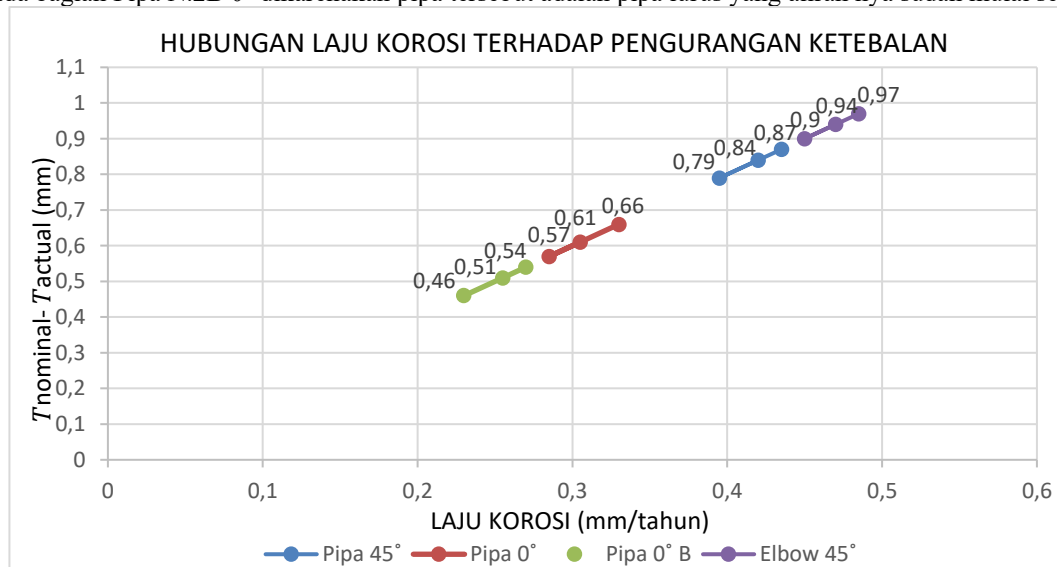
Gambar 5. Grafik pengurangan ketebalan pada piping intake

Berdasarkan pada gambar di atas bahwa pada pipa *intake* telah terjadi pengurangan ketebalan berkisar antara 0.46 mm – 0.97 mm selama 2 tahun beroperasi. Di samping itu pengurangan ketebalan yang terbesar dari *piping intake* ini berada pada pipa bagian 1 elbow dengan dengan derajat 45° dengan nilai pengurangan ketebalan sebesar 0.97 mm. Karena *elbow* tersebut adalah *elbow* yang mengalirkan air danau yang berada diawal pada saat masuknya air danau pada pipa *intake* sehingga korosi sangat rentan terjadi dan banyak faktor yang mempengaruhinya serta menyebabkan korosi yang cepat. Hal ini disebabkan oleh faktor Internal dan faktor Eksternal. Pipa yang mengalami pengurangan ketebalan paling rendah sebesar 0.46 mm yaitu pipa 2B dengan derajat 0° dikarenakan pipa tersebut adalah pipa lurus yang aliran nya sudah mulai seragam dan tekanan nya sudah mulai lebih konstan dari pada pipa yang lainnya.



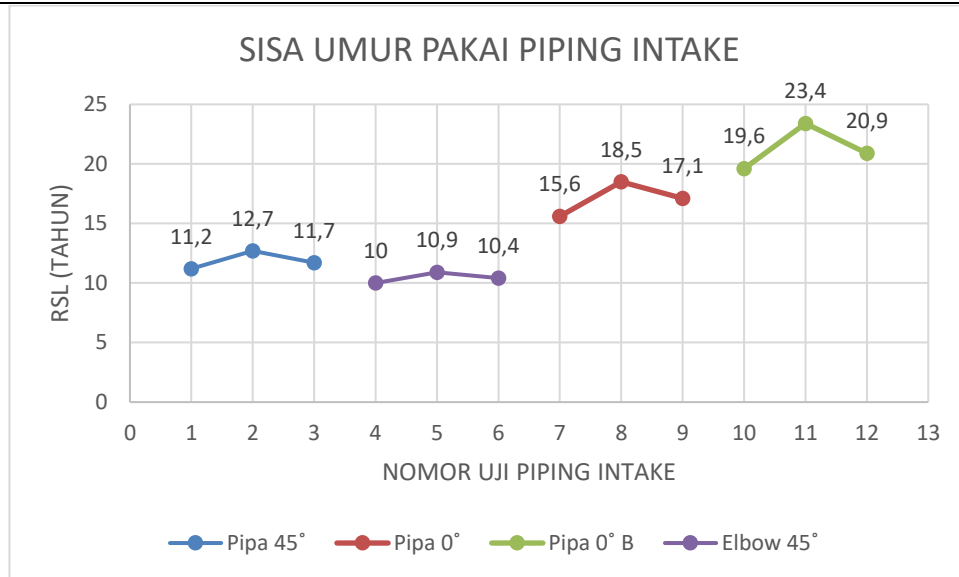
Gambar 6. Grafik hubungan laju korosi

Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui laju korosi yang tertinggi pada elbow 45° setelah 2 tahun digunakan adalah sebesar 0,485 mm/tahun pada elbow no 1 45°, pada bagian ini memiliki laju korosi tertinggi karena pada bagian pipa dengan kemiringan 45° adalah pipa pertama yang mengalirkan air dari danau. Masuknya air ke pipa sangat memungkinkan adanya pengendapan oleh unsur-unsur korosif, hal ini dikarenakan adanya turbulensi atau tegangan sisa sehingga menimbulkan korosi yang cukup tinggi. Sedangkan untuk pipa 10 inch laju korosi yang terendah setelah 2 tahun digunakan adalah sebesar 0,230 mm/tahun pada bagian Pipa N.2B 0° dikarenakan pipa tersebut adalah pipa lurus yang aliran nya sudah mulai seragam.



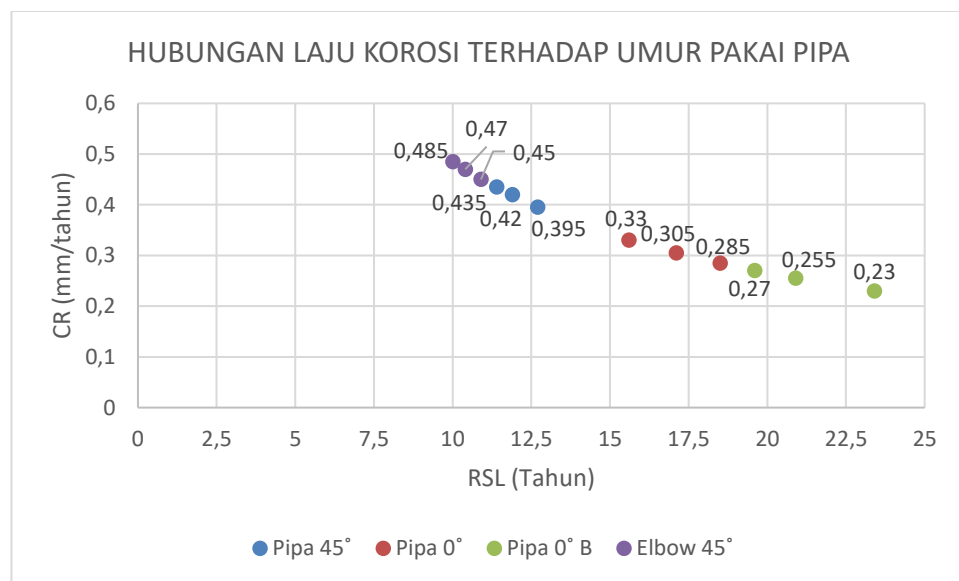
Gambar 7. Grafik hubungan laju korosi terhadap pengurangan ketebalan

Berdasarkan gambar di atas pengurangan ketebalan yang terbesar dari pipa 10inch ini berada pada elbow bagian 1 dengan dengan derajat 45° dengan nilai pengurangan ketebalan sebesar 0.97 mm dan memiliki laju korosi sebesar 0,485mm/tahun, dan berdasarkan gambar di atas bahwa dapat dikatakan pengurangan ketebalan akan selalu berbanding lurus dengan tingginya laju korosi yang terjadi. Semakin tinggi pengurangan ketebalan yang terjadi maka laju korosi akan semakin tinggi.



Gambar 8. Grafik sisa umur pakai pipa (RSL)

Berdasarkan hasil perhitungan dijelaskan bahwa untuk menentukan sisa umur pakai itu berdasarkan proses laju korosi yang terjadi pada pipa itu sendiri, sehingga pada saat menentukan perhitungan sisa umur pakai pipa dibuat dengan menganggap bahwa ketebalan pipa tersebut akan bernilai 3.431mm atau habis dipakai. Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa sisa umur pakai (*remaining service life*) pipa paling rendah terjadi pada bagian 1, *elbow* N.1 45°. Hal ini terjadi karena elbow dengan sudut 45° adalah pipa yang berada paling dekat dengan sumber air yang berada di tergolong *extremely corrosive*. Dapat dilihat dari gambar 4.9 pipa yang memiliki sisa umur pakai yang terendah adalah 10 tahun yaitu pada pipa bagian 1, *Elbow* N.1 45°, dan sisa umur pakai yang tertinggi adalah 23,4 tahun yaitu pada pipa bagian pipa N.2B 0°

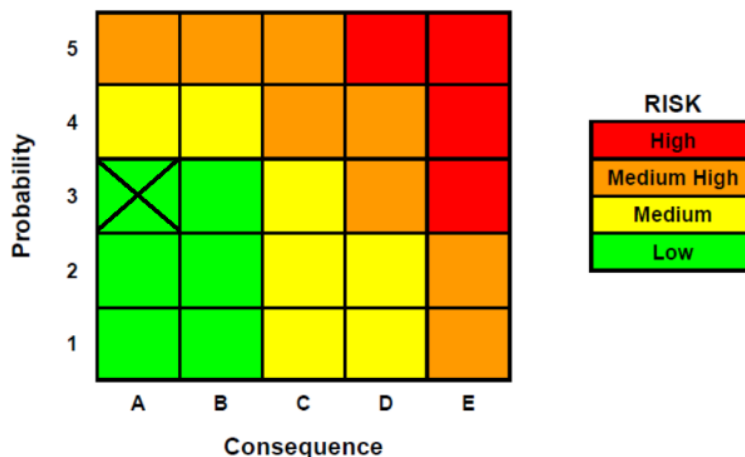


Gambar 9. Grafik hubungan laju korosi terhadap sisa umur pakai pipa

Berdasarkan gambar 9 bahwa dapat dilihat jika semakin tinggi laju korosi yang dialami pada pipa maka sisa umur (*remaining service life*) pakai pipa akan semakin rendah, dapat dikatakan bahwa nilai laju korosi berbanding terbalik dengan sisa umur pakai pipa (*remaining service life*). Oleh karena itu melakukan pengecekan atau inspeksi sangat diperlukan untuk membantu memperlambat proses korosi, karena jika laju korosi sangat tinggi maka sisa umur pakai pipa tidak akan sesuai dengan perencanaan awal yang sudah ditetapkan.

3.1.1 Risk Matriks

Dari analisis yang dilakukan untuk menentukan nilai peluang terjadinya kegagalan (PoF) dan juga nilai konsekuensi akibat kegagalan (CoF), maka dapat ditentukan peringkat risiko dari tiap-tiap pipa *intake* yang ada. Nilai risiko ini didapat dari kombinasi antara kategori nilai peluang kegagalan (PoF) dengan kategori nilai konsekuensi kegagalan (CoF) yang dapat dilihat pada gambar 10.



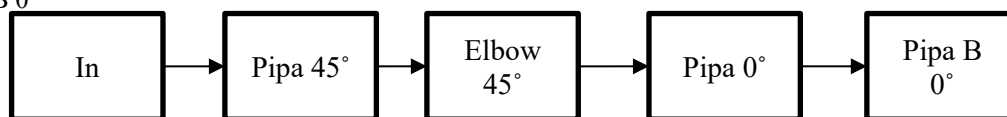
Gambar 10. Matriks resiko

Berdasarkan pada gambar 10 matriks resiko dapat dilihat bahwa *piping intake* penyalur air ini berada pada peringkat resiko 3A *low*, sehingga kegiatan pemeliharaan yang perlu dilakukan bersifat *preventive maintenance*. Hal yang menjadi pertimbangan jalur pipa air tersebut berada pada peringkat resiko 3A *low* karena memiliki tingkat laju korosi yang cukup besar yaitu 0.485 mm/tahun yang dapat di kategorikan dalam tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi yaitu masuk ke kategori *good*.

3.1.2 Reliability Diagram Block

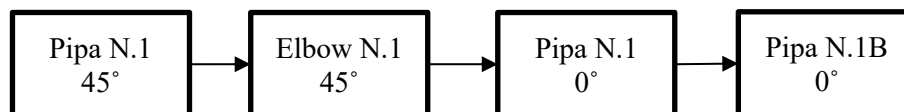
Pengelompokan komponen diperlukan untuk menentukan rangkaian yang ada pada *reliability block diagram*. Berikut bagian pada *circulating water piping intake*.

- *Piping intake*
 - Pipa 45°
 - Elbow 45°
 - Pipa 0°
 - Pipa B 0°

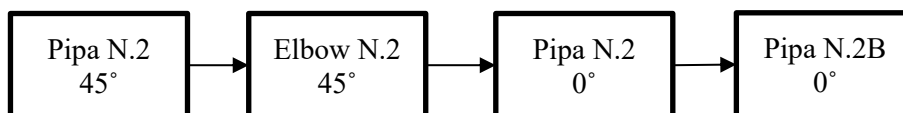


Gambar 11. Pengelompokan reliability block diagram

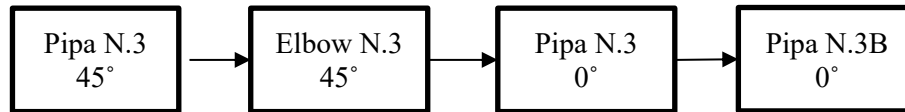
Pada proses *circulating water piping intake*, keterkaitan antar pipa digambarkan dalam bentuk seri jadi, jika salah satu pipa mengalami kegagalan maka seluruh sistem akan berhenti. *Reliability Block Diagram* untuk proses *circulating water piping intake* memiliki 3 jalur pipa yang berbeda maka akan di dapatkan 3 *Reliability Block Diagram* dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 12. Reliability block diagram proses circulating water intake pipa no 1



Gambar 13. Reliability block diagram proses circulating water intake pipa no 2



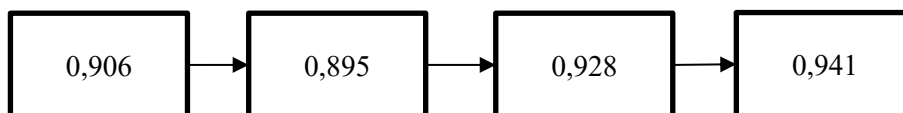
Gambar 14. Reliability block diagram proses circulating water intake pipa no 2

Setelah dilakukan nya perhitungan dengan menggunakan perbandingan antara ketebalan *initial* dengan ketebalan *actual* maka di dapatkan nilai R dan hasil nilai *reliability* tersebut dari 3 jalur pipa *intake* yang berada di perusahaan air minum. Berikut adalah perhitungan *reliability circulating water piping intake*.

Tabel 6. Nilai Reliability

| Komponen | Reliability |
|------------------|-------------|
| 1, Pipa N.1 45° | 0,906 |
| 2, Pipa N.2 45° | 0,914 |
| 3, Pipa N.3 45° | 0,909 |
| 4, Elbow N.1 45° | 0,895 |
| 5, Elbow N.2 45° | 0,902 |
| 6, Elbow N.3 45° | 0,898 |
| 7, Pipa N.1 0° | 0,928 |
| 8, Pipa N.2 0° | 0,938 |
| 9, Pipa N.3 0° | 0,934 |
| 10, Pipa N.1B 0° | 0,941 |
| 11, Pipa N.2B 0° | 0,950 |
| 12, Pipa N.3B 0° | 0,944 |

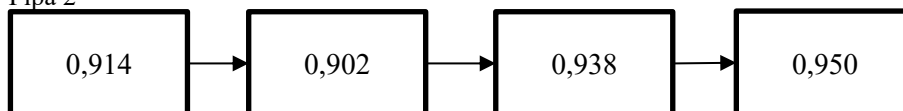
a. Pipa 1



Sehingga perhitungan *reliability* sistem pipa 1

$$R_{\text{Sistem}} = 0,906 \cdot 0,895 \cdot 0,928 \cdot 0,941 = 0,70809$$

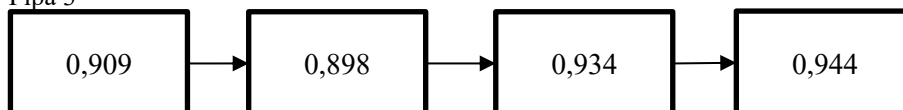
b. Pipa 2



Sehingga perhitungan *reliability* sistem pipa 1

$$R_{\text{Sistem}} = 0,914 \cdot 0,902 \cdot 0,938 \cdot 0,950 = 0,73464$$

c. Pipa 3



Sehingga perhitungan *reliability* sistem pipa 1

$$R_{\text{Sistem}} = 0,909 \cdot 0,898 \cdot 0,934 \cdot 0,944 = 0,71971$$

4. Kesimpulan

Dalam penentuan laju korosi pada circulating water piping intake yang diperoleh selama 2 tahun berjalan, telah ditemukan bahwa Elbow N.1 45° memiliki laju korosi terbesar sebesar 0,485 mm/tahun, salah satu faktor penyebabnya adalah tekanan air yang besar dan dekat dengan pengambilan air dari danau. Sebaliknya, Pipa N.2B 0° memiliki laju korosi terkecil sebesar 0,230 mm/tahun. Setelah ditemukan laju korosi, sisa umur (remaining life time) dari setiap komponen piping intake telah dihitung, dengan Pipa N.2B 0° memiliki sisa umur paling besar yaitu 23,4 tahun dan Elbow N.1 45° memiliki sisa umur terendah yaitu 10 tahun. Berdasarkan risk matriks, tingkat resiko piping intake berada pada tingkat 3A low risk karena semua komponen masuk dalam kategori laju korosi yang baik/good. Dari reliability block diagram, nilai reliability pada 3 jalur piping intake menunjukkan bahwa jalur pipa no 2 memiliki nilai reliability paling besar sebesar 0,73464 dan jalur pipa no 1 memiliki nilai reliability paling kecil sebesar 0,70809. Selain itu, reliability block diagram juga menunjukkan bahwa komponen piping intake yang paling kritis adalah Elbow N.1 45° dengan nilai kehandalan sebesar 0,895, serta komponen yang memiliki nilai reliability terbesar adalah Pipa N.2B 0° dengan nilai kehandalan sebesar 0,950.

5. Daftar Pustaka

- [1] L. Rohaeni, D. Saepudin, A. A, Rohmawati. (2016). Penerapan Algoritma Genetik Untuk Optimalisasi Debit Air Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air. Studi Kasus Waduk Sito Cileunca, Jawa Barat. Jurnal EProceeding Of Engineering 3 (2), hal. 3961- 3971.
- [2] M. Zuchry, R. Magga. (2017). Analisis Laju Korosi Dengan Penambahan Pompa Pada Baja Komersil Dalam Media Air Laut. Jurnal Mekanikal 8(2), hal. 737-741.
- [3] M. Li, Y. Wang, Z. Liu, Y. Sha, G. Korshin, Y. Chen. (2020). Metal-Release Potential From Iron Corrosion Scales Under Stagnant And Active Flow, And Varying Water Quality Conditions. Water Research 175 (15), hal. 675-685.
- [4] Fontana. (1986). Corrosion Engineering and Corrosion Science. In Materials Performance 19 (10), hal. 51-52. <https://doi.org/10.5006/0010-9312-19.6.199>
- [5] G. Haryadi, H. Kustomo, K. Seon. (2016). Penilaian Risiko Dan Perencanaan Inspeksi Pipa Transmisi Gas Alam Cepu-Semarang Menggunakan Metode Risk Based Inspection Semi-Kuantitatif Api 581. ITB Journal 25 (1), hal. 18-28.
- [6] API. (2016). Risk-Based Inspection Technology.
- [7] C. Ebeling. (1997). An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, Me Graw Hill Book Co., Singapore.
- [8] M. Lufthansa. (2017). Analisis Pengaruh Media Pendingin Dan Temperatur Pada Proses Pengerasan Baja AISI 1035 Terhadap Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Untuk Aplikasi Hammer Crusher. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- [9] American Petroleum Institute. (2016). API Publication, Risk Based Inspection, second edition, API Publishing Service, Washington (D. C., USA).
- [10] American Petroleum Institute. (2016). API Recommended Practice 581. Third Edition, API Publishing Service, Washington (D. C., USA).