

Analisis Tekno Ekonomi Penggunaan Material Carbon Steel SA 106 Grade B dan Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) pada Jalur Water Injection Pipeline 10” – 3000 M

Bhinta Ramadha^{1*}, Endah Wismawati², Bayu Wirowi K.³

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1,2}

Program studi D-IV Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: bhintaramadha17@yahoo.com^{1*}; endahw@ppns.ac.id^{2*}; bayuwiro@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - In one of oil and gas companies in Indonesia, there is a 3 km water injection pipeline (underground) installed with FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) material. Previously SA 106 Grade B carbon steel was used as its material. Later the other pipelines was installed with different material, this research comparing them from the technical side including the lifetime of material and in terms of economical value. This research is supported by immersion test to determine the rate of corrosion in both materials refer, to ASTM G31 - 90 standard. Their lifetime are obtained from the calculation of remaining life calculation based on API standard 570. To find their resistance, FRP material toward heat and pH level in fluid, the TGA (Thermogravimetric Analyzer) was testend. Based on the analysis and calculation above, the company can save a lot of money if FRP material is used for the next pipeline installation

Keyword: Fiberglass Reinforced Pipe (FRP), Carbon Steel SA 106 Grade B, Immersion Test, Thermo Gravimetric Analyser (TGA), Lifetime

Nomenclature

| | |
|------|--|
| CR | Corrosion Rate (mm/years) |
| W | Weight Loss (gram) |
| K | Constant Factor |
| D | Density of material (g/cm ³) |
| AS | Surface Area (cm ²) |
| T | Exposur Time (Hour) |
| Pi | Internal Design gauge pressure (psi) |
| OD | Outside Diameter pipa (inch) |
| F | Design factor based on nominal wall thickness |
| E | Weld joint factor |
| Sy | Specified minimum yield strength of the pipe (psi) |
| S | Applicable allowable stress value (psi) |
| t | Minimum required thickness (mm) |
| Tacc | Actual thickness (mm) |
| Tm | Thickness minimum (mm) |
| r | Jumlah Replikasi |
| a,b | Jumlah level tiap faktor |
| SK | Sumber Keragaman |
| KT | Kuadrat Tengah |
| JK | Jumlah Kuadrat |

1. PENDAHULUAN

Pada sebuah perusahaan K3S yang bergerak di bidang eksplorasi dan produksi minyak dan gas terdapat sebuah instalasi pipa jaringan pendukung sistem, yakni *water injection pipeline* yang terkubur dalam tanah (*underground*)

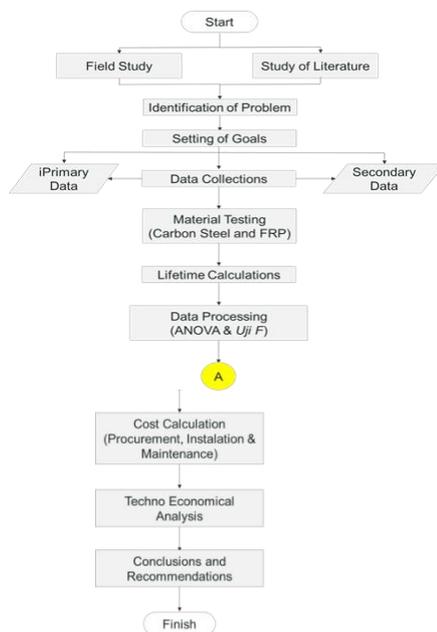
sepanjang 3 km yang menghubungkan *Central Processing Area (CPA)* dan *Mudi Pad C*. Sistem *underground pipeline* tersebut berfungsi sebagai media penyalur fluida (*produce water*) hasil dari pengeboran yang telah dipisahkan oleh separator dan kemudian dikembalikan lagi ke sumur sebagai proses injeksi (*water flooding*). Fluidanya tergolong korosif. Melihat kondisi fluida tertera yang termasuk korosif dan juga penggunaan material *carbon steel* memerlukan biaya tambahan pada perawatan, yakni proteksi katodik, *pigging* serta *inject chemical inhibitor* yang berdampak pada pengeluaran perusahaan, maka JOB PPEJ menginginkan material pipa yang tahan terhadap korosi serta minimal perawatan. Pada dasarnya terdapat material yang mampu menahan terjadinya korosi sebagai contoh yakni material *thermoplastic*. Ada beberapa jenis material *thermoplastic* yang dirangkum pada *American Society of Mechanical Engineering (ASME) B31. 3 Process Piping* salah satunya yaitu *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)*. Menurut data dari *AMIANTIT pipe system*, FRP mampu menahan temperatur sampai 120°C dengan *operating pressure* sampai 100 Bar. Oleh karena itu, pada bulan April 2017 dilakukan proyek pengantian material *carbon steel* menjadi *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)* oleh kontraktor. Setelah pipa FRP terpasang, muncul keresahan baru yakni tidak diketahuinya *lifetime* dari instalasi FRP secara aktual. Diambil dari data operasional *water*

injection pipeline, fluida yang mengalir di dalam pipa mencapai 98°C dengan kadar pH yang fluktuatif. Sehingga muncul kekhawatiran dari tim pipeline JOB PPEJ lambat laun akan terjadi kerusakan pada pipa tersebut, akibat dari kesalahan saat manufaktur atau yang lain. Maka dari itu dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian secara aktual dengan mengambil sampel material dan fluida dari lapangan untuk mengetahui *lifetime* yang ditinjau dari kekuatan dan ketahanan material terhadap kondisi fluida. Penelitian ini juga akan dijadikan salah satu pertimbangan pergantian material pada jalur pipeline serupa yang saat ini masih menggunakan material *carbon steel*. Analisa dilakukan dari segi teknis meliputi perhitungan *lifetime* dari kedua material menggunakan metode kehilangan berat atau *weight loss* dengan pengujian *immersion test* dan pengujian *thermo gravimetric analyzer (TGA)* untuk mengetahui pengaruh suhu dan kadar pH dari *service condition pipeline* terhadap material FRP. Kemudian dari segi ekonomis meliputi perhitungan biaya pengadaan material, instalasi dan perawatan. Maka dapat diketahui material mana yang lebih baik dari segi teknis dan ekonomis untuk *project* instalasi jalur *pipeline* selanjutnya.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melaksanakan beberapa pengujian terkait ketahanan material. Berikut Gambar 2.1 merupakan diagram alir penelitian:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Formula Matematika

Formula yang digunakan dalam perhitungan – perhitungan pada penelitian ini meliputi:

1. Laju Korosi

Berdasarkan standar ASTM G31 – 72, untuk mendapatkan nilai laju korosi menggunakan formula sebagai berikut:

$$Cr = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (1)$$

Dimana,

Cr = Corrosion Rate (Laju Korosi) (mm/y)

K = Konstanta (8,76 x 10⁴)

W = Massa yang hilang (gram)

D = Density (gram/cm³)

A = Luasan Area (cm²)

T = Durasi pengujian (hour)

2. Lifetime

Dalam menghitung *lifetime* menggunakan standar API 570, karena yang terjadi adalah korosi dan erosi maka *thickness* material dikurangi *minimum wall thickness* kemudian dibagi dengan laju korosi+laju erosi seperti formula di bawah ini:

$$Lifetime = \frac{T_{acc}-T_m}{CR} \quad (2)$$

Dimana,

T_{acc} = Actual thickness (mm)

T_m = Minimum wall thickness (mm)

CR = Corrosion rate (mm/year)

3. Metode Desain Faktorial

Tujuan eksperimen faktorial adalah untuk melihat interaksi antara faktor yang kita uji cobakan. Eksperimen faktorial digunakan untuk mempelajari secara serentak pengaruh dua atau lebih faktor (F.Y.P., 2017)[3]. Misalnya apabila pengaruh waktu pendinginan *t* bernilai sama pada semua taraf pemberian temperatur, maka kedua faktor tersebut saling bebas dan dikatakan tidak terjadi interaksi, adapun apabila pengaruh *t* memberikan pengaruh nilai yang berbeda pada semua taraf, maka dikatakan terjadi interaksi antara Faktor *t* dan Faktor *T*. Pada Tabel 1 dijelaskan mengenai kombinasi perlakuan antar level factor.

Tabel 1: Kombinasi perlakuan antar Level Faktor

| Faktor A | Faktor B |
|----------|----------|
| a1 | b1 |
| | b2 |
| | b3 |
| a2 | b1 |
| | b2 |
| | b3 |
| a3 | b1 |
| | b2 |
| | b3 |

4. Metode ANOVA

Anova adalah suatu cara atau prosedur yang digunakan untuk membandingkan rata-rata populasi. ANOVA terdiri dari derajat bebas, jumlah kuadrat dan kuadrat tengah. Pada Tabel 2 menjelaskan rumus menggunakan ANOVA yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 2: ANOVA

| SK | Db | JK | KT |
|---------------|-----------|--------|------------------|
| Perlakuan | (ab-1) | JK_P | $JK_P / (ab-1)$ |
| A | (a-1) | JK_A | $JK_A / (a-1)$ |
| B | (b-1) | JK_B | $JK_B / (b-1)$ |
| SK | Db | JK | KT |
| Galat (error) | $ab(r-1)$ | JK_G | $JK_G / ab(r-1)$ |

Keterangan:

- r = Jumlah Replikasi
- a,b = Jumlah Level setiap faktor
- SK = Sumber Keragaman
- KT = Kuadrat Tengah
- JK = Jumlah Kuadrat

Di bawah ini adalah rumus-rumus yang dipakai untuk menentukan nilai jumlah kuadrat pada tabel ANOVA di atas.

a. Faktor Kuadrat (FK)

Faktor kuadrat adalah penjumlahan dari keseluruhan hasil variabel respon yang dikuadratkan kemudian dibagi dengan perkalian antara jumlah pengambilan data dengan jumlah level masing-masing faktor, seperti perhitungan sesuai persamaan (3) dibawah ini.

$$FK = \frac{\left(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r y_{ijk} \right)^2}{rab} \quad (3)$$

b. Jumlah Kuadrat Total (JK_T)

Jumlah kuadrat total adalah penjumlahan semua nilai variabel respon pada semua interaksi antar faktor yang dikuadratkan kemudian dikurangi dengan faktor kuadrat, seperti yang tertulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$JK_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d Y_{ijkl}^2 - FK \quad (4)$$

c. Jumlah Kuadrat perlakuan (JK_p)

Jumlah kuadrat perlakuan adalah penjumlahan total nilai variabel respon dari masing-masing replikasi yang dikuadratkan dibagi dengan jumlah replikasi lalu dikurangi dengan faktor kuadrat, seperti yang tertulis dengan persamaan sebagai berikut

$$JK_P = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \left[\left(\sum_{l=1}^d Y_{ijkl} \right)^2 / r \right] - FK \quad (5)$$

d. Jumlah Kuadrat Faktor A (JK_A)

Jumlah kuadrat faktor A adalah penjumlahan total masing-masing nilai variabel respon dari faktor A yang dikuadratkan dibagi dengan perkalian jumlah replikasi dengan jumlah taraf faktor B dan faktor C, seperti yang tertulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$JK_A = \sum_{i=1}^a \left[\left(\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d Y_{ijkl} \right)^2 / rbc \right] - FK \quad (6)$$

e. Jumlah Kuadrat Faktor B (JK_B)

Jumlah kuadrat faktor B adalah penjumlahan total semua nilai variabel respon dari faktor B yang dikuadratkan dan dengan perkalian antara jumlah replikasi dengan jumlah taraf faktor A dan faktor C, seperti yang tertulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$JK_B = \sum_{j=1}^b \left[\left(\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d Y_{ijkl} \right)^2 / rbc \right] - FK \quad (7)$$

f. Jumlah Kuadrat Interaksi Faktor A dan Faktor B (JK_{AB})

Jumlah kuadrat interaksi faktor A dan faktor B adalah penjumlahan dari semua nilai variabel respon interaksi faktor A dan faktor B yang dikuadratkan dan dibagi dengan perkalian antara jumlah replikasi dan jumlah taraf dari faktor C lalu dikurangi dengan FK, JK_A dan JK_B, sebagaimana yang tertulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$JK_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \left[\left(\sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d Y_{ijkl} \right)^2 / rc \right] - FK - JK_A - JK_B \quad (8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, diperoleh hasil pengujian *Immersion Test*, meliputi *weight loss* material. Dari hasil tersebut kemudian dilanjutkan dengan menghitung laju korosi, dan terakhir ditutup dengan perhitungan *lifetime*. Semua perhitungan dilakukan untuk kedua material. Setelah mendapatkan *lifetime*, kemudian data diolah menggunakan desain eksperimen (faktorial) menggunakan metode ANOVA dan Uji F.

3.1 Perhitungan Laju Korosi

Dari pengujian *immersion* dengan variasi temperature 80,90,100°C dan pH 4.5, 5.5, 6.5

dengan durasi pengujian 48 jam, dan perhitungan laju korosi yang mengacu pada standar ASTM G-31 dan G1, didapatkan nilai laju korosi pada masing-masing material seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3: Perhitungan Laju Korosi Material *Carbon Steel SA 106 Grade B*

| No | Temperature | pH | Laju Korosi (mmpy) |
|----|-------------|-----|--------------------|
| 1 | 80 | 4,5 | 0,1142 |
| 2 | 80 | 5,5 | 0,1015 |
| 3 | 80 | 6,5 | 0,0809 |
| 4 | 90 | 4,5 | 0,1225 |
| 5 | 90 | 5,5 | 0,1092 |
| 6 | 90 | 6,5 | 0,0881 |
| 7 | 100 | 4,5 | 0,1355 |
| 8 | 100 | 5,5 | 0,1171 |
| 9 | 100 | 6,5 | 0,0995 |

Tabel 4: Perhitungan Laju Korosi Material *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)*

| No | Temperature | pH | Laju Korosi (mmpy) |
|----|-------------|-----|--------------------|
| 1 | 80 | 4,5 | 0,0003 |
| 2 | 80 | 5,5 | 0,0003 |
| 3 | 80 | 6,5 | 0,0003 |
| 4 | 90 | 4,5 | 0,0003 |
| 5 | 90 | 5,5 | 0,0003 |
| 6 | 90 | 6,5 | 0,0003 |
| 7 | 100 | 4,5 | 0,0006 |
| 8 | 100 | 5,5 | 0,0006 |
| 9 | 100 | 6,5 | 0,0006 |

3.2 Perhitungan Lifetime

Dalam menentukan nilai *lifetime* material menggunakan standar API 570[1]. Data yang dibutuhkan meliputi nilai *thickness actual*, nilai *minimum thickness* dan penjumlahan nilai laju korosi/ *corrosion rate* dari perhitungan manual. Data hasil perhitungan *lifetime* berdasarkan nilai laju korosi secara manual untuk material *Carbon Steel SA 106 Grade B* dan *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)* dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 dengan perhitungan sesuai dengan persamaan (2)

Tabel 5: Hasil Perhitungan *Lifetime* Material *Carbon Steel SA 106 Grade B*

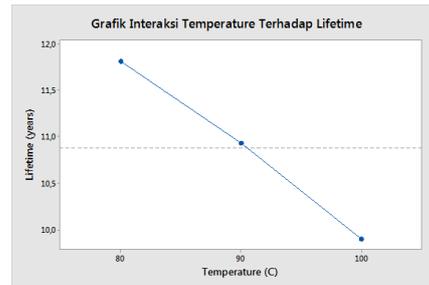
| No | Temperature | pH | Lifetime(years) |
|----|-------------|-----|-----------------|
| 1 | 80 | 4,5 | 10 |
| 2 | 80 | 5,5 | 11 |
| 3 | 80 | 6,5 | 14 |
| 4 | 90 | 4,5 | 9 |
| 5 | 90 | 5,5 | 10 |
| 6 | 90 | 6,5 | 13 |
| 7 | 100 | 4,5 | 8 |
| 8 | 100 | 5,5 | 10 |
| 9 | 100 | 6,5 | 11 |

Tabel 6: Hasil Perhitungan *Lifetime* Material *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)*

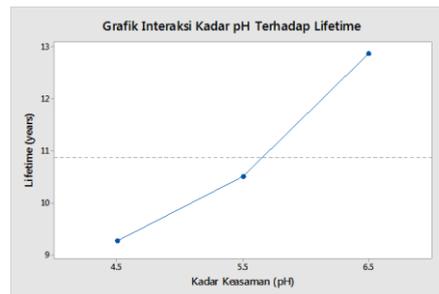
| No | Temperature | pH | Lifetime(years) |
|----|-------------|-----|-----------------|
| 1 | 80 | 4,5 | 9758 |
| 2 | 80 | 5,5 | 9758 |
| 3 | 80 | 6,5 | 9758 |
| 4 | 90 | 4,5 | 9758 |
| 5 | 90 | 5,5 | 9758 |
| 6 | 90 | 6,5 | 9758 |
| 7 | 100 | 4,5 | 6505 |
| 8 | 100 | 5,5 | 6505 |
| 9 | 100 | 6,5 | 6505 |

3.3 ANOVA

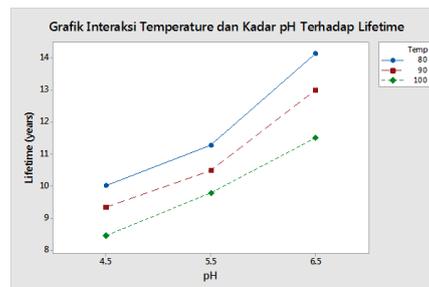
Pada hasil perhitungan manual dan *Minitab17* bisa didapatkan grafik yang berfungsi untuk mengetahui optimasi dari setiap parameter. Grafik tersebut terdiri dari 2 macam, *Main Effects Plot* yang berfungsi untuk mengetahui optimasi dari setiap level secara individu dan *Interaction Plot* yang berfungsi untuk mengetahui interaksi antar parameter. Untuk material *Carbon Steel* dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4



Gambar 2. Grafik hubungan nilai temperatur dengan lifetime



Gambar 3. Grafik hubungan nilai keasaman dengan lifetime

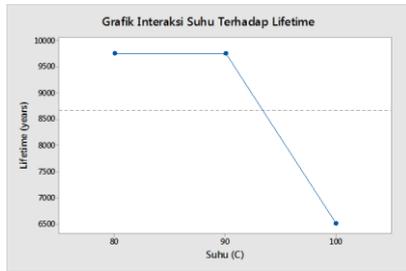


Gambar 4. Grafik hubungan nilai temperatur dan keasaman dengan lifetime

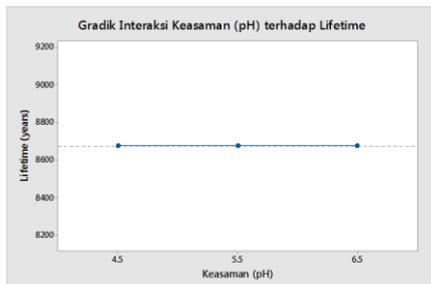
Peneliti mengasumsikan nilai *interaction* yang optimal terdapat pada temperatur yang besar dan keasaman (Kadar pH) yang kecil sehingga semakin berdampak pula terhadap nilai *lifetime* material (semakin cepat). Dari hasil grafik temperatur dan keasaman (kadar pH) pada Gambar 4, yang terdiri dari temperatur 80°C, 90°C dan 100°C serta kadar pH fluida 4.5, 5.5 dan 6,5 dapat dilihat bahwa temperatur 100°C dan kadar pH fluida 4.5 lebih berdampak atau lebih cepat mencapai *lifetime* material.

Pada hasil perhitungan selanjutnya menunjukkan grafik hubungan parameter

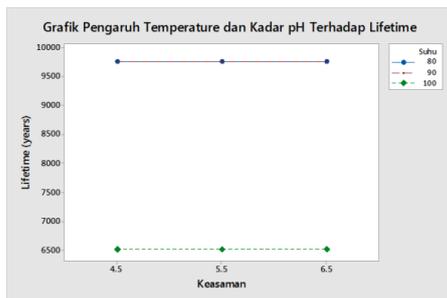
pengujian dengan nilai *lifetime* untuk material *Fiberglass Reinforced Plastic* (FRP) yang dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7



Gambar 5. Grafik hubungan nilai temperatur dengan Lifetime



Gambar 6. Grafik hubungan nilai keasaman dengan Lifetime

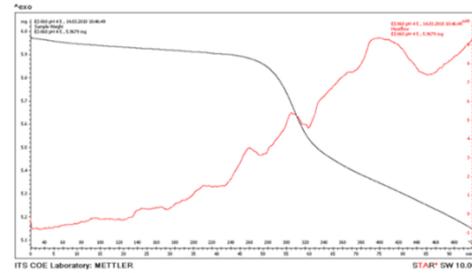


Gambar 7. Grafik hubungan nilai temperature dan keasaman dengan lifetime

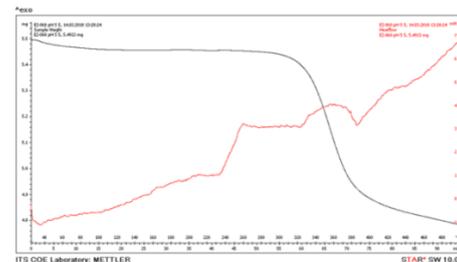
Peneliti mengasumsikan nilai *interaction* yang optimal terdapat pada temperature yang besar sehingga semakin berdampak pula terhadap nilai *lifetime* material (semakin cepat). Dari hasil grafik temperatur dan keasaman (kadar pH) pada Gambar 7, yang terdiri dari temperatur 80°C, 90°C dan 100°C serta kadar pH fluida 4.5, 5.5 dan 6,5 dapat dilihat bahwa temperatur 100°C lebih berdampak atau lebih cepat mencapai *lifetime* material.

3.4 Hasil Thermo Gravimetric Analyzer

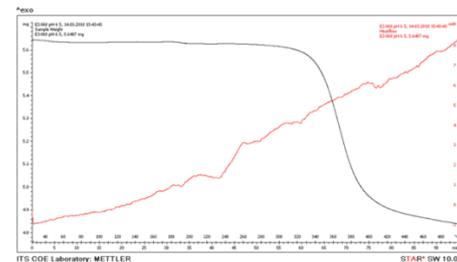
Pengujian TGA bertujuan untuk menganalisa perubahan secara fisik dan kimia pada material dengan cara memaksa terjadinya reaksi dengan penggunaan panas. Pengujian dilakukan di Laboratorium Energi & Lingkungan LPPM - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pengujian TGA ini dilakukan berdasarkan standar ASTM E1131[2]. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 8. Grafik penurunan massa spesimen FRP pH 4,5



Gambar 9. Grafik penurunan massa spesimen FRP pH 5,5



Gambar 10. Grafik penurunan massa spesimen FRP pH 6,5

Melalui di atas, dapat dilihat penyusutan massa secara drastis untuk spesimen FRP EI-060 pH 4,5 dimulai pada temperatur 270°C. Sedangkan penyusutan massa untuk spesimen EI-060 pH 5,5 terjadi secara drastis mulai pada temperatur 310°C. Untuk spesimen EI-060 pH 6,5 terjadi penyusutan massa secara drastis mulai pada temperatur 330°C. Perbedaan *service condition* dengan masing-masing kadar pH memberikan perbedaan ketahanan material FRP terhadap temperatur. FRP dengan *service condition* pH 4,5 memiliki ketahanan temperatur yang lebih kecil dibandingkan dengan material FRP *service condition* pH 5,5 dan pH 6,5. Dengan mengetahui penyusutan massa terhadap temperatur, dapat diketahui performa material FRP ini. Material tersebut dapat bertahan hingga temperatur dibawah 270°C, sehingga kita dapat mengetahui material FRP bekerja dengan sangat baik apabila diaplikasikan pada temperatur dibawah 270°C.

3.5 Perhitungan Biaya

Untuk perhitungan biaya pada penelitian ini dihitung dari pengadaan material, instalasi dan perawatan. Data didapatkan dari katalog, survei lapangan dan asumsi. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7: Perbandingan Biaya Instalasi Proyek Pipeline

| No | Jenis Pekerjaan | Biaya | | Diferensiasi |
|----|---------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | CS (Rp) | FRP (Rp) | |
| 1 | Pengadaan Material | Rp2.759.363.000 | Rp3.209.050.000 | Rp449.687.000 |
| 2 | Instalasi Perawatan | Rp12.205.788.800 | Rp6.700.000 | Rp12.199.088.800 |
| 3 | Biaya Total | Rp14.965.151.800 | Rp3.215.750.000 | Rp11.749.401.800 |

Dari hasil perhitungan total biaya material di atas, maka material yang paling efektif untuk instalasi pipeline pada project selanjutnya adalah material FRP.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisa pada hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian *immersion test* yang dilakukan terhadap material *Carbon Steel SA 106 Grade B* dan *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)* terdapat perbedaan yang signifikan. Material *carbon steel* dengan *service condition pipeline* berkadar pH fluida 4,5 – 6,5 dan temperatur operasi 80-100 °C dapat bertahan hingga minimal 8 tahun dan maksimal 14 tahun . Sedangkan material FRP dapat bertahan hingga minimal 4878 tahun dan maksimal 9757 tahun.
2. Dari hasil uji *Thermogravimetric Analyzer (TGA)* material FRP dengan perlakuan reaksi fluida pH 4,5 (spesimen FRP EI-060) terjadi penyusutan massa secara drastis pada temperatur 270°C. Sedangkan penyusutan massa untuk spesimen EI-060 pH 5,5 terjadi secara drastis mulai pada temperatur 310°C. Untuk spesimen EI-060 pH 6,5 terjadi penyusutan massa secara drastis mulai pada temperatur 330°C. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa *service condition* pada *water injection pipeline* CPA – Mudi Pad C JOB PPEJ Tuban, dengan kadar pH 4,5 – 6,5 dan panas yang ditimbulkan dari temperatur operasi 80-100 °C tidak berpengaruh signifikan terhadap ketahanan material FRP.
3. Dari hasil perhitungan biaya project *water injection pipeline* yang meliputi biaya pengadaan material, instalasi dan perawatan selama 30 tahun diperoleh nilai sebesar Rp 14.965.151.800 untuk material *Carbon Steel SA 106 Grade B* dan Rp 3.215.750.000 untuk material *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)*.
4. Dari segi teknis dilihat dari ketahanan material mengacu pada hasil laju korosi dan perhitungan *lifetime* sudah cukup jelas bahwa material FRP bisa tahan jauh lebih lama daripada material *carbon steel*.

Sedangkan dilihat dari segi ekonomis mengacu pada hasil perhitungan pengeluaran biaya yang meliputi biaya *procurement*, instalasi dan perawatan selama 30 tahun FRP ternyata juga lebih hemat daripada material *carbon steel*. Terdapat diferensiasi yang cukup signifikan, yakni sebesar Rp 11.749.401.800. Dengan hasil analisa tekno ekonomi yang dilakukan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa perusahaan dapat menghemat biaya yang besar jika instalasi pipeline menggunakan material FRP, selain itu material FRP juga bertahan lebih lama sehingga dapat menjaga kestabilan produksi.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pembuatan penelitian ini. Pihak yang dimaksud adalah:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, motivasi, kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis.
2. Ibu Endah Wismawati, selaku dosen pembimbing I yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
3. Bapak Bayu Wiro Karuniawan, selaku dosen pembimbing II yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
4. Pembimbing dari JOB PPEJ yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu.
5. Keluarga besar program studi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] API 570. (2016). *Piping Inspection Code: In Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping System*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- [2] ASTM G31-72. (2004). *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. West Conshohocken: ASTM International.
- [3] F.Y.P., A. (2017). Pengaruh Variasi Kelembapan, Temperatur dan Ketebalan Cat pada Baja SS400 terhadap Daya Rekat dan Laju Korosi. *Proceeding 2nd Conference of Piping Engineering and its Application*.