

Analisis Tekno Ekonomi Penggunaan Material Carbon Steel SA 106 Grade B dan Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) Terhadap Pengaruh Suhu dan Kecepatan Fluida pada Condensate Polishing System PLTU Batang

Bagus Anugerah Heri Irwanto^{1*}, Budi Prasajo², Endah Wismawati³

PT. Jurong Engineering Lestari (JEL), Jakarta, Indonesia¹

Program studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Program studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: bagusanugerah@student.ppns.ac.id^{1*}; budiprasajo1968@ppns.ac.id^{2*}; endahw@ppns.ac.id^{3*};

Abstract - The Batang Steam Power Plant (PLTU), Central Java is engaged in state electricity production by utilizing coal sources. In the PLTU system, there is a term, namely, Balance Of Plant (BOP) which is useful for stabilizing a plant with several systems in it. Actual testing is carried out to determine the lifetime in terms of strength and resistance of the material to fluid conditions. Research for this final project is in the form of corrosion rate analysis with Immersion Test testing, using variables including the influence of fluid temperature and flowrate on material strength. Then proceed with the lifetime calculation of Carbon Steel A106 Gr B and Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) materials in the condensate polishing system of PLTU Batang. The results obtained by carbon steel material with fluid flowrate service condition 1,655 m/s – 1,775 m/s and operating temperature 80-100oC can last 11 to 15 years. FRP material can last up to twice as much, namely 33 to 45. The calculation of project costs obtained a value of Rp 11,783,935,000 for Carbon Steel A 106 Grade B material and Rp 166,060,000 for FRP material. Based on the research that has been done, FRP material is superior in terms of technical and economical.

Keyword: Corrosion rate, flowrate, immersion test, internal corrosion, remaining lifetime

Nomenclature

Tm	thickness minimum [mm]
CR	Corrosion rate [mm/y]
W	Weight loss [gram]
K	Konstanta [8.76 x 10 ⁴]
T	Waktu kontak [hours]
D	Density [gram/cm ³]
Tr	Remaining lifetime [years]

1. PENDAHULUAN

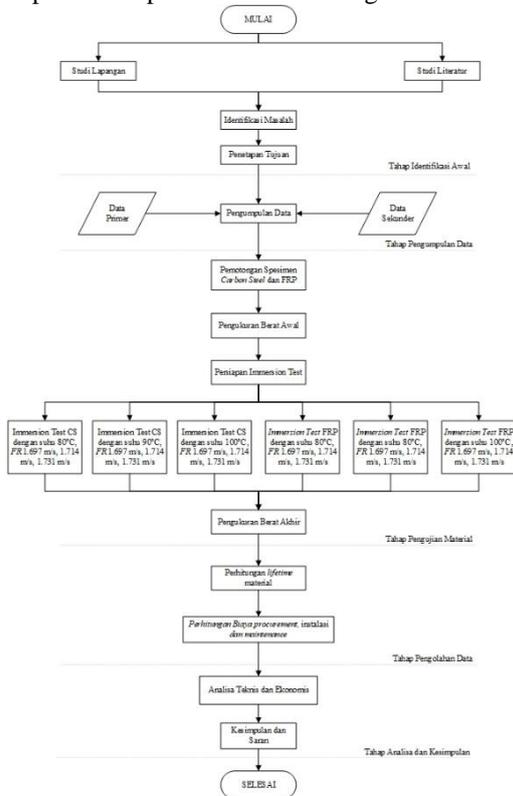
Condensate Polishing System merupakan sebuah sistem di PLTU yang gunanya untuk menurunkan suhu condensate hingga ke suhu yang masih dapat ditahan oleh activated carbon dan ion exchange. Melihat kondisi dari fluida yang dialirkan di dalamnya adalah NaOH yang memiliki karakteristik derajat basa yang cukup tinggi dan bersifat korosif yang dapat merusak, maka untuk mencegah adanya korosi dilakukan analisa tentang penggantian material pipa. Terdapat permasalahan yakni pada sistem tersebut terdapat perbedaan penggunaan material. Perbedaan penggunaan material terdapat pada block A dari sistem tersebut. Material yang digunakan pada sistem ini adalah A106 Gr B, namun pada drain sistem tersebut kedapatan menggunakan material FRP (Fiberglass Reinforced Plastic). Selain itu, pihak owner juga belum mengetahui nilai lifetime dari material yang digunakan dan menginginkan material pipa yang tahan terhadap korosi serta minimal maintenance. Pada dasarnya terdapat material yang mampu menahan terjadinya korosi sebagai

contoh yakni 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 temperature hingga 120°C dengan operating pressure sampai 100 Bar. Sehingga pihak owner menginginkan adanya penggantian material pada plant selanjutnya. Oleh karena itu, perlu 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. Analisa dilakukan dari segi teknis meliputi perhitungan *lifetime* dari kedua material menggunakan metode kehilangan berat atau weight loss dengan pengujian immersion test. Pengujian dilakukan juga untuk menganalisa laju korosi dari material carbon steel dan material FRP dengan variabel suhu dan flowrate fluida. Kemudian dari segi ekonomis meliputi perhitungan biaya pengadaan material, instalasi dan maintenance. Maka dapat diketahui material mana yang lebih baik digunakan untuk sistem tersebut.

2. METODOLOGI .

2.1 Metode Penelitian

Untuk diagram alir metodologi penelitian, dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Persiapan Spesimen

Spesimen pengujian menggunakan pipa material CS A106 Gr B dan FRP dengan bentuk potongan strip coupon. Bentuk tersebut mengikuti acuan standart ASTM G31. Dimensi ukuran spesimen adalah 50 mm x 25 mm dengan ketebalan 8 mm dikarenakan mengikuti ketebalan pipa yang terinstal dengan dimensi 4”.

Skema pengujian dalam penelitian ini adalah membuat 54 spesimen pengujian dengan variabel yang berbeda untuk mengetahui berbagai hasil dari pengujian. Pengujian menggunakan metode immersion test menggunakan NaOH dengan cara pencelupan untuk mengetahui laju korosi dan lifetime pipa. Untuk rancangan pengujian spesimen ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Skema Pengujian

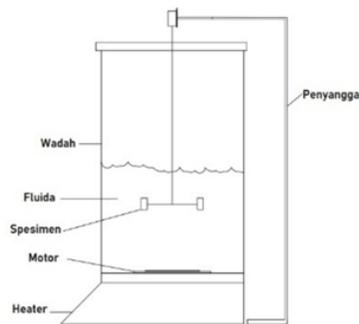
NO	Pengujian	Kode	NO	Pengujian	Kode
1	CS Suhu 80, FR 1.697	CS1	28	FRP Suhu 80, FR 1.697	F1
2	CS Suhu 80, FR 1.697	CS2	29	FRP Suhu 80, FR 1.697	F2
3	CS Suhu 80, FR 1.697	CS3	30	FRP Suhu 80, FR 1.697	F3
4	CS Suhu 80, FR 1.714	CS4	31	FRP Suhu 80, FR 1.714	F4
5	CS Suhu 80, FR 1.714	CS5	32	FRP Suhu 80, FR 1.714	F5
6	CS Suhu 80, FR 1.714	CS6	33	FRP Suhu 80, FR 1.714	F6
7	CS Suhu 80, FR 1.731	CS7	34	FRP Suhu 80, FR 1.731	F7
8	CS Suhu 80, FR 1.731	CS8	35	FRP Suhu 80, FR 1.731	F8
9	CS Suhu 80, FR 1.731	CS9	36	FRP Suhu 80, FR 1.731	F9
10	CS Suhu 90, FR 1.697	CS10	37	FRP Suhu 90, FR 1.697	F10
11	CS Suhu 90, FR 1.697	CS11	38	FRP Suhu 90, FR 1.697	F11
12	CS Suhu 90, FR 1.697	CS12	39	FRP Suhu 90, FR 1.697	F12
13	CS Suhu 90, FR 1.714	CS13	40	FRP Suhu 90, FR 1.714	F13
14	CS Suhu 90, FR 1.714	CS14	41	FRP Suhu 90, FR 1.714	F14
15	CS Suhu 90, FR 1.714	CS15	42	FRP Suhu 90, FR 1.714	F15
16	CS Suhu 90, FR 1.731	CS16	43	FRP Suhu 90, FR 1.731	F16
17	CS Suhu 90, FR 1.731	CS17	44	FRP Suhu 90, FR 1.731	F17
18	CS Suhu 90, FR 1.731	CS18	45	FRP Suhu 90, FR 1.731	F18
19	CS Suhu 100, FR 1.697	CS19	46	FRP Suhu 100, FR 1.697	F19
20	CS Suhu 100, FR 1.697	CS20	47	FRP Suhu 100, FR 1.697	F20
21	CS Suhu 100, FR 1.697	CS21	48	FRP Suhu 100, FR 1.697	F21
22	CS Suhu 100, FR 1.714	CS22	49	FRP Suhu 100, FR 1.714	F22
23	CS Suhu 100, FR 1.714	CS23	50	FRP Suhu 100, FR 1.714	F23
24	CS Suhu 100, FR 1.714	CS24	51	FRP Suhu 100, FR 1.714	F24
25	CS Suhu 100, FR 1.731	CS25	52	FRP Suhu 100, FR 1.731	F25
26	CS Suhu 100, FR 1.731	CS26	53	FRP Suhu 100, FR 1.731	F26
27	CS Suhu 100, FR 1.731	CS27	54	FRP Suhu 100, FR 1.731	F27

2.3 Pengukuran Berat Awal Spesimen

Pengukuran berat awal spesimen dilakukan bertujuan untuk mengetahui berat awal spesimen sebelum dilakukan pengujian immersion test.

2.4 Pengujian Material

Pengujian dilakukan dengan memvariasi suhu dan kecepatan aliran fluida yang digunakan pada immersion test. Pengujian dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen pengujian kedalam gelas yang berisi larutan NaOH. Spesimen akan direndam selama 27 hari atau 648 jam. Ilustrasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2 Skema Pengujian Immersion Test

Setelah proses pengujian dengan pencelupan selama 648 jam atau 27 hari selesai, dilakukan penimbangan pada setiap spesimen yang diuji. Diharapkan bahwa nantinya terdapat pengurangan berat pada spesimen pengujian dikarenakan proses perendaman dalam media korosif dalam kurun waktu 27 hari tersebut.

2.5 Pengukuran Berat Akhir

Pengukuran berat akhir spesimen dilakukan setelah proses pengujian spesimen dengan pengujian selama 24 jam dengan larutan NaOH agar dapat diketahui nilai *weight loss* pada setiap spesimen dan dapat dihitung nilai laju korosinya.

2.6 Perhitungan Laju Korosi

Pada tahap ini, dilakukan perhitungan laju korosi berdasarkan ASTM G-31 sebagai berikut :

$$CR = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (1)$$

Keterangan :

- Cr = Corrosion Rate (mm/y)
- K = Konstanta (8.76 x 10⁴)
- T = Waktu kontak spesimen (jam)
- A = Luas Area (cm²)
- W = Weight Loss (gram)
- D = Density of metal (g/cm³)

2.7 Perhitungan Lifetime

Setelah mendapatkan nilai laju korosi, tahap selanjutnya adalah menghitung nilai *remaining lifetime* berdasarkan API 570, sebagai berikut :

$$tr = \frac{tacc - tm}{Cr} \quad (2)$$

Keterangan :

- tr = Remaining life (years)
- tm = Thickness minimum required (mm)
- tacc = Thickness actual (mm)
- CR = Corrosion rate (mm/y)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Laju Korosi

Pada tahap ini, dilakukan perhitungan laju korosi dengan persamaan [1] dimana dibutuhkan data seperti luas permukaan, *weight loss*, dan data penunjang material pipa. Berikut adalah hasil perhitungan laju korosi pada setiap variasi *coating* yang dilakukan dari tabel 2 – tabel 3.

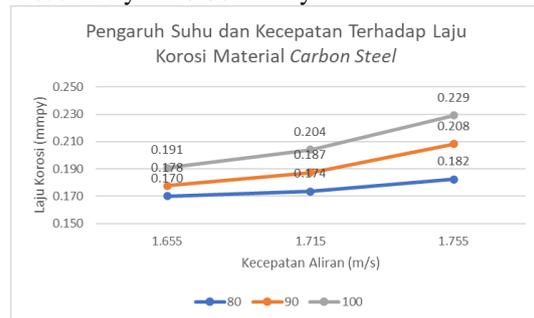
Tabel 2 Laju Korosi Pada Carbon Steel

No	Temperature	Flowrate (m/s)	Laju Korosi (mmpy)
1	80	1.655	0.170
2	80	1.715	0.174
3	80	1.775	0.182
4	90	1.655	0.178
5	90	1.715	0.187
6	90	1.775	0.208
7	100	1.655	0.191
8	100	1.715	0.204
9	100	1.775	0.229

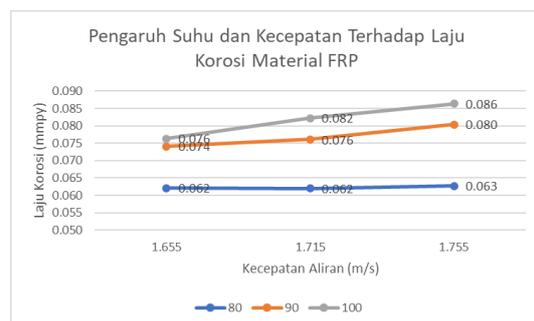
Tabel 3 Laju Korosi Pada FRP

No	Temperature	Flowrate (m/s)	Laju Korosi (mmpy)
1	80	1.655	0.062
2	80	1.715	0.062
3	80	1.775	0.063
4	90	1.655	0.074
5	90	1.715	0.076
6	90	1.775	0.080
7	100	1.655	0.076
8	100	1.715	0.082
9	100	1.775	0.086

Dari hasil perhitungan korosi tersebut, masing-masing variasi pengujian memiliki laju korosi yang berbeda dikarenakan penggunaan variabel suhu dan kecepatan aliran fluida. Untuk mempermudah analisa laju korosi pada masing-masing variabel, maka ditampilkan pada gambar 3 dan gambar 4 berikut ini. Diketahui bahwa laju korosi tertinggi pada material *carbon steel* adalah pada suhu 100 dengan kecepatan 1.775 m/s yaitu 0.229 mm/y. Sedangkan laju korosi terendah terjadi pada suhu 80 dengan kecepatan 1.655 m/s yaitu 0.170 mm/y. Sedangkan untuk laju korosi dari material FRP diketahui bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada suhu 100 dengan kecepatan 1.775 m/s yaitu 0.086 mm/y dan nilai laju korosi terendah terjadi pada suhu 80 dengan kecepatan 1.655 m/s yaitu 0.062 mm/y.



Gambar 3 Grafik Laju Korosi Pada Carbon Steel



Gambar 4 Grafik Laju Korosi Pada FRP

Dari kedua grafik tersebut dapat kita ketahui bahwa masing-masing variabel memiliki nilai laju korosi yang berbeda dengan dipengaruhi variabel suhu dan kecepatan aliran fluida yang mempengaruhi laju korosi.

3.2 Perhitungan Lifetime

Setelah nilai laju korosi diketahui, tahap selanjutnya adalah perhitungan *lifetime* pada

masing-masing spesimen dengan persamaan [2]. Berikut adalah perhitungan *lifetime* seluruh spesimen yang ditunjukkan pada tabel 4 dan tabel 5.

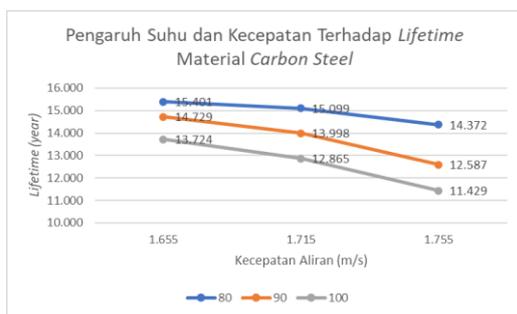
Tabel 4 Lifetime Pada Carbon Steel

No	Temperature	pH	Lifetime (years)
1	80	1.655	15
2	80	1.715	15
3	80	1.775	14
4	90	1.655	15
5	90	1.715	14
6	90	1.775	13
7	100	1.655	14
8	100	1.715	13
9	100	1.775	11

Tabel 5 Lifetime Pada FRP

No	Temperature	pH	Lifetime (years)
1	80	1.655	45
2	80	1.715	45
3	80	1.775	44
4	90	1.655	38
5	90	1.715	37
6	90	1.775	37
7	100	1.655	36
8	100	1.715	35
9	100	1.775	33

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa nilai *lifetime terendah* yang terjadi material *carbon steel* adalah pada suhu 100 dengan kecepatan 1.775 m/s yaitu 11 tahun. Sedangkan *lifetime terendah* pada material FRP terjadi pada variable yang sama yaitu 33 tahun. Sedangkan nilai *lifetime tertinggi* pada material *carbon steel* terjadi pada suhu 80 dengan kecepatan 1.655 m/s yaitu 15 tahun. Sedangkan untuk material FRP *lifetime tertinggi* terjadi pada suhu 80 dengan kecepatan 1.655 m/s yaitu 45 tahun.



Gambar 5 Grafik Lifetime Larutan H₂SO₄



Gambar 6 Grafik Lifetime Larutan NaCl

Dari Grafik 5 dan 6 dapat diambil kesimpulan bahwa setiap suhu, kecepatan aliran, laju korosi dan kondisi lingkungan sangat berpengaruh terhadap nilai *lifetime*. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa jenis material FRP lebih unggul dibandingkan dengan carbon steel dalam kondisi apapun.

3.3 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 6 dibawah ini.

Tabel 6 Perhitungan Biaya Kedua Material

No.	Jenis Pekerjaan	Biaya		Diferensiasi
		CS (Rp)	FRP (Rp)	
1	Procurement	Rp87.113,000	Rp165.800,000	Rp 78.687,000
2	Instalasi dan Maintenance	Rp386,822,000	Rp780,000	Rp386,821,220
3	Biaya Total	Rp473,935,000	Rp166,580,000	Rp307,355,000

4. KESIMPULAN

Pada perhitungan dan analisa pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian immersion test yang dilakukan terhadap material Carbon Steel A106 Grade B dan Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) terdapat perbedaan yang signifikan. Material carbon steel dengan service condition flowrate fluida 1.655 m/s – 1.775 m/s dan temperature operasi 80-100oC dapat bertahan hingga minimal 11 tahun dan maksimal 15 tahun . Sedangkan material FRP dapat bertahan hingga dua kali lipat yakni minimal 33 tahun dan maksimal 45 tahun sesuai perhitungan *lifetime* yang dilakukan pada sub bab 4.4.
2. Dari hasil perhitungan biaya project condensate polishing system yang meliputi biaya pengadaan material, instalasi dan maintenance selama 30 tahun diperoleh nilai sebesar Rp473,935,000 untuk material Carbon Steel A106 Grade B dan Rp166,580,000 untuk material Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)
3. 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 maintenance selama 30 tahun FRP ternyata juga lebih hemat daripada material carbon steel. Terdapat diferensiasi yang cukup signifikan, yakni sebesar Rp Rp307,355,000. 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. DAFTAR PUSTAKA

- [1] API 570. Piping Inspection Code: In-Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems. (2016). Washington DC: American Petroleum Institute.
- [2] ASME B31.3 Piping Process. (2012). USA: The American Society of Mechanical Engineer.
- [3] ASTM G1-03 Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. (2004). USA: American Society for Testing and Material.
- [4] Sudjana. (1995). Desain dan Analisis Eksperimen. Bandung: Tarsito.
- [5] Haezer, H. E. (2016). Analisa Sifat Akustik dan Morfologi Material Komposit Polypropylene berpenguat Serat Bambu dan Rami.
- [6] Hermawan, S. (2017). Laju Korosi Pipa Baja Karbon A 106 sebagai fungsi temperature dan konsentrasi NaCl pada fluida yang tersaturasi gas CO₂
- [7] Ramadha, B. (2018). Analisis Tekno Ekonomi Penggunaan Material Carbon Steel Sa 106 Grade B Dan Frp (Fiberglass Reinforced Plastic) Pada Jalur Water Injection Pipeline 10" 3000 M CPA – Mudi Pad C JOB PPEJ Tuban.
- [8] Rusdi, M. (2018). Analisa Laju Korosi Baja Karbon ST 60 Terhadap Larutan Hidrogen Klorida (HCl) dan Larutan Natrium Hidroksida (NaOH)
- [9] Aria, Z. (2020). Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida NaOH Pada Coating FRP dan Rubber Terhadap Laju Korosi Material A106 Grade B (Studi Kasus Central Java 2 X 1000 MW Coal Fired Power Plant).