

PERAMALAN SISA UMUR PEMAKAIAN *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR* (HRSG) BERDASARKAN KETEBALAN PIPA DENGAN METODE *NON DESTRUCTIVE TEST*



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

OLEH :

RAGIL ARIF WIBOWO

D 400 160 146

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2020

HALAMAN PERSETUJUAN

**PERAMALAN SISA UMUR PEMAKAIAN *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR*
(HRSG) BERDASARKAN KETEBALAN PIPA DENGAN METODE *NON DESTRUCTIVE*
*TEST***

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

RAGIL ARIF WIBOWO

D 400 160 146

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen
Pembimbing



Hasyim Asy'ari, S.T., M.T

NIK. 981

HALAMAN PENGESAHAN

**PERAMALAN SISA UMUR PEMAKAIAN *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR*
(HRSG) BERDASARKAN KETEBALAN PIPA DENGAN METODE *NON DESTRUCTIVE*
*TEST***

OLEH
RAGIL ARIF WIBOWO

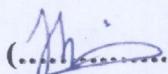
D 400 160 146

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Senin, 27 April 2020
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Hasyim Asy'ari, S.T., M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

()

2. Ir. Jatmiko, M.T.

(Anggota I Dewan Penguji)

()

3. Agus Supardi, S.T., M.T.

(Anggota II Dewan Penguji)

()

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka .

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 14 April 2020

Penulis



RAGIL ARIF WIBOWO

D400160146

PERAMALAN SISA UMUR PEMAKAIAAN *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR* (HRSG) BERDASARKAN KETEBALAN PIPA DENGAN METODE *NON DESTRUCTIVE TEST*

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) merupakan salah satu unit pembangkit listrik yang berada di Indonesia. Dalam sistem PLTGU terdiri dari berbagai komponen, salah satu komponen penting dalam proses pembangkitan listrik PLTGU yaitu *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) yang berfungsi untuk mengkonversi zat cair air menjadi uap untuk memutar turbin uap pada PLTGU, hal ini akan mengakibatkan kontak antara fluida dengan material pada suhu dan tekanan tinggi. Dampak yang berbahaya dari proses tersebut adalah terjadinya korosi yang akan menyebabkan pengikisan dinding pipa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui batas tebal minimal dan laju korosi pada pipa HRSG sehingga dengan itu dapat diketahui sisa umur pemakaian pada pipa HRSG atau berapa lama lagi pipa dapat digunakan dan dilakukan penggantian pipa atau *re-tubing* untuk mencegah terjadinya kerusakan fatal saat unit beroperasi akibat tercapainya batas minimal pipa. Metode yang dilakukan untuk pengujian menggunakan teknik *Non-Destructive Test (NDT)* atau pengujian tidak merusak dengan pemeriksaan visual dan *ultrasonic test*. Sisa umur pipa HRSG diperkirakan dengan mengasumsi laju penipisan pada pipa terhadap nilai ketebalan aktual hingga mencapai ketebalan minimalnya. Ketebalan minimal dihitung mengacu pada standar (*American Society of Mechanical Engineers*) *ASME Boiler and Vessel Pressure Section I* tentang *rules for construction of power boiler* dengan data variabel faktor pengoreksi serta *maximum allowable stress* dari standar *ASME Boiler and Vessel Pressure Section II Part D*. Hasil penelitian menunjukkan sisa umur pemakaian paling rendah terdapat pada pipa HP *Economizer* yaitu 7,1 tahun dengan laju korosi sebesar 0,101 mm/tahun dan perkiraan sisa umur pemakaian paling lama yaitu 66,4 tahun pada pipa LP *Evaporator* dengan laju korosi sebesar 0,047 mm/tahun dan batas minimal tebal pipa yaitu 1,3 mm untuk *Low Pressure* dan 2,9 mm untuk *High Pressure*.

Kata Kunci: Peramalan sisa umur, PLTGU, HRSG, NDT, *Ultraasonic Test*.

Abstract

Steam Gas Power Plant (PLTGU) is one of the power generation units in Indonesia. The PLTGU system consists of various components, one of the important components in the PLTGU electricity generation process is the Heat Recovery Steam Generator (HRSG) which functions to convert liquid water into steam to rotate the steam turbine in the PLTGU, this will result in contact between the fluid and the material at high temperatures and pressures. The dangerous impact of the process is corrosion which will cause erosion of the pipe wall. This study aims to determine the minimum thickness limit and the corrosion rate of the HRSG pipe so that it can be known the remaining life of the HRSG pipe or how much longer the pipe can be used and carried out pipe replacement or re-tubing to prevent fatal damage when the unit operates due to the achievement of the achievement minimum pipe limit. The method used for testing uses the technique of Non-Destructive Test (NDT) or non-destructive testing with visual inspection and ultrasonic tests. The remaining life of the HRSG pipe is estimated by assuming the rate of thinning of the pipe against the value of the actual thickness to the minimum thickness. The

minimum thickness calculated refers to the American Society of Mechanical Engineers (ASME Boiler and Vessel Pressure Section I) standards for the construction of power boilers with variable data correction factors and the maximum allowable stress of the ASME Boiler and Vessel Pressure Section II Part D standards. The result of research shows the lowest remaining service life is found in the HP Economizer pipe which is 7.1 years with a corrosion rate of 0.101 mm / year and the estimated remaining longest service life is 66.4 years in LP Evaporator pipes with a corrosion rate of 0.047 mm / year and limits minimum pipe thickness is 1.3 mm for Low Pressure and 2.9 mm for High Pressure.

Keywords: *Forecasting remaining life, PLTGU, HRSG, NDT, Ultraasonic Test.*

1. PENDAHULUAN

Energi Listrik adalah komponen yang sangat penting bagi kebutuhan masyarakat. Listrik hampir digunakan oleh masyarakat dalam kehidupan sehari-hari. Unit pembangkit listrik merupakan hal yang sangat penting dalam menunjang ketersediaan kebutuhan listrik. Banyak jenis dari unit pembangkit listrik yang ada di Indonesia salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), dalam PLTGU terdapat banyak komponen penyusunnya salah satu komponen yang paling penting adalah *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG), peran HRSG sangat penting dalam menghasilkan uap yang akan digunakan untuk memutar turbin uap yang nantinya akan menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.

Sisa gas buang dari turbin gas akan menuju *exhaust gas* digunakan untuk menaikkan temperature fluida dengan cara memanaskan air di dalam tingkatan pipa-pipa pemanas HRSG yaitu: *economizer*, *evaporator*, dan *superheater*. Saat beroperasi dibutuhkan air untuk menghasilkan uap sebagai media pemutar turbin, sedangkan di dalam air itu sendiri mengandung senyawa kimia yang menyebabkan korosi seperti silika dan klor (Edy et al., 2016). Tekanan yang tinggi di dalam pipa dan paparan temperature yang tinggi pada luar pipa juga gas panas yang terkontaminasi residu yang bersifat korosif dalam waktu yang lama dapat menyebabkan penipisan pada pipa yang nantinya dapat menyebabkan kebocoran dalam pipa (Auliya, 2019).

Dari permasalahan tersebut diperlukan solusi untuk mengatasinya agar dapat menghindari kerusakan yang berakibat fatal. Diperlukan kendali terhadap laju korosi dan batas ketebalan minimal pipa untuk mendapatkan nilai sisa umur pemakaian pada HRSG dengan menggunakan standar *ASME BPVC Section I* tentang *Rules for Construction of Power Boilers*. Untuk mendapatkan nilai laju korosi dan tebal minimal kita membutuhkan data pengukuran ketebalan aktual dengan menggunakan metode *Non Destructive Test (NDT)* menggunakan *ultrasonic thickness test* dan pengujian visual.

NDT adalah teknik analisis yang digunakan dalam industri *sains* dan teknologi untuk mengevaluasi sifat-sifat suatu bahan, komponen, atau sistem tanpa menyebabkan kerusakan pada komponen yang diuji. Pengujian NDT lebih banyak digunakan karena selain tidak merusak komponen yang diuji dapat juga menghemat biaya dan waktu yang digunakan dalam evaluasi produk dan pemecahan masalah dalam pengujian. Tujuh metode NDT yang paling sering digunakan saat ini yaitu partikel *magnetic*, penetrant cair, radiografi, *ultrasonic*, *acoustic emission*, *eddy current*, dan pengujian visual (ASME BPVC Section V 2015).

Dalam menentukan sisa umur HRSG kita menggunakan metode NDT *ultrasonic thickness test* dengan menggunakan DM5E probe normal sudut 0° type EN 501. Alat ini memiliki *dual sensivity* sehingga tidak membaca ketebalan dari cat yang menempel pada material. Pengukuran dilakukan dengan menempelkan probe pada material yang akan diuji dengan media *couplant* (cairan) sehingga gelombang *ultrasound* dapat membaca ketebalan pipa (Khoirul et al., 2017).

Penelitian ini menguji ketebalan dari pipa-pipa yang terdapat di HRSG yang akan digunakan sebagai data untuk menentukan laju korosi, tebal minimal, dan sisa umur dari HRSG tersebut dengan mengacu pada standar *ASME BPVC Section I* tentang *Rules for Construction of Power Boilers* sebagai dasar dari menentukan perhitungan. Dengan ini terjadinya kecelakaan akan dapat dikurangi bahkan dihindari.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Metodologi yang digunakan penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan dimana penulis mengumpulkan informasi yang berhubungan dengan tema yang akan dibahas seperti artikel-artikel ilmiah terkait, jurnal-jurnal, dan buku-buku yang ada kaitanya dengan permasalahan yang dibahas dan digunakan sebagai pendukung dan penunjang dalam penelitian.

2. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan dengan cara *Non Destructive Test (NDT)* yaitu *Ultrasonic Testing (UT)* menggunakan media gelombang ultrasonik (gelombang suara) yang mempunyai frekuensi tinggi $>20\text{Khz}$. UT dapat digunakan untuk mendeteksi cacat, pengukuran dimensi, karakterisasi material, dan lainnya sesuai dengan perkembangan alat ultrasonik ke bentuk yang lebih modern dan multi fungsi (Munthe, 2014). untuk mengetahui ketebalan material pada bagian pipa. Alat yang digunakan untuk

ultrasonic test yaitu DM5E probe normal sudut 0° type EN 501. Dari data ketebalan tersebut akan diketahui sisa umur pemakaian HRSG.

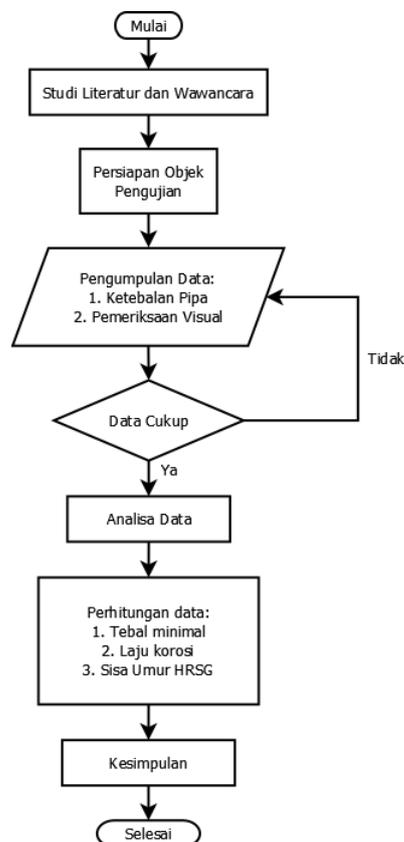
3. Analisa

Data ketebalan tersebut kemudian akan dianalisa menggunakan perhitungan untuk menentukan laju korosi, tebal minimal, dan setelah itu dapat diketahui sisa umur pemakaian dari pipa-pipa HRSG. Perhitungan mengacu pada standar *ASME BPVC Section I* tentang *Rules for Construction of Power Boilers*, *API 510 Pressure Vessel Inspection Code*, dan *ASME Section II Part D Boiler and Pressure Vessel Code (Propertis)*.

2.2 Peralatan yang digunakan

1. *Ultrasonic Test* DM5E probe normal sudut 0° type EN 501
2. *Cleaner* (SKC-S)
3. Sikat
4. Kain lap
5. *Couplant* (Cairan)

2.3 Flowchart Penelitian



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian Tugas Akhir

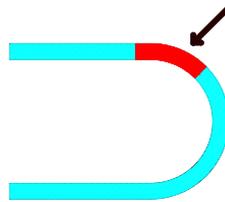
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual dilakukan untuk mengetahui kondisi fisik dari objek yang akan diuji atau diinspeksi. Pemeriksaan dilakukan pada *elbow* pipa-pipa yaitu: LP *Economizer*, LP *Evaporator*, HP *Economizer*, HP *Evaporator*, HP *Superheater*. Hasil dari pemeriksaan visual akan didokumentasi menggunakan kamera sebagai bukti adanya kerusakan secara fisik pada material.

3.2 Pengambilan Ketebalan

Pengambilan ketebalan dilakukan dengan cara *ultrasonic test* lokasi pengambilan ketebalannya yaitu pada bagian lekukan *elbow* dari pipa-pipa seperti pada gambar 2. Jumlah pipa yang diambil ketebalannya adalah 9 pipa dari kurang lebih 87 pipa setiap *main hole*. Alat yang digunakan dalam pengambilan ketebalan yaitu DM5E. Pengujian dilakukan dengan cara menempelkan probe dengan ditambahkan *couplant* (cairan) pada permukaan material yang sudah dibersihkan dari korosi dan lainnya.



Gambar 2. Teknik Pengambilan Ketebalan Pipa

3.3 Data Desain

Komponen HRSG yang digunakan pada PLTGU memiliki data seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Data HRSG

No	Deskripsi	Rincian Data
1.	Jenis/Bentuk	Ketel Uap Dalam Tembakan dengan pipa-pipa
2.	Tahun Pembuatan	1994
3.	Bahan Bakar	Sisa gas buang dari turbin gas
4.	Material Pipa	- <i>Low Pressure Economizer</i> : St35.8/1 - <i>Low Pressure Evaporator</i> : St35.8/1 - <i>High Pressure Economizer</i> : St35.8/1 - <i>High Pressure Evaporator</i> : St35.8/1 - <i>High Pressure Superheater</i> : St35.8/1
5.	Tekanan Desain	- <i>Low Pressure Economizer</i> : 10 bar

	- <i>Low Pressure Evaporator</i> : 10 bar
	- <i>High Pressure Economizer</i> : 110 bar
	- <i>High Pressure Evaporator</i> : 110 bar
	- <i>High Pressure Superheater</i> : 110 bar

6. Suhu Operasi	- <i>Low Pressure Economizer</i> : 160 °C
	- <i>Low Pressure Evaporator</i> : 160 °C
	- <i>High Pressure Economizer</i> : 319 °C
	- <i>High Pressure Evaporator</i> : 319 °C
	- <i>High Pressure Superheater</i> : 319 °C

3.4 Perhitungan Tebal Minimal

Komponen yang sudah mencapai tebal minimal tidak boleh digunakan atau dioperasikan lagi. Perhitungan tebal minimal menggunakan persamaan dari *ASME BPVC Section I* tentang *Rules for Construction of Power Boilers* formula untuk menghitung tebal minimal dilihat dari ukuran diameter pipa sebagai berikut:

$$t = \frac{PD}{2S_w + P} + 0,005D + e \quad (1)$$

Keterangan:

t : Tebal minimum yang dibutuhkan (mm).

P : *Maximum allowable working pressure* (Mpa).

D : Diameter luar (mm).

S : *Maximum allowable stress* pada temperatur desain logam (Mpa).

w : Faktor reduksi kekuatan sambung las.

e : Faktor ketebalan untuk ujung tabung diperluas.

3.4.1 Perhitungan Pipa *Low Pressure* (LP)

Data desain pipa yang dimiliki LP *Economizer* dan LP *Evaporator* adalah sama karena sama-sama menggunakan sistem *low pressure* jadi hasil perhitungan tebal minimal akan sama antara LP *Economizer* dan LP *Evaporator*. Di perhitungan tebal minimal hanya dibutuhkan data desain yaitu seperti pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Pipa pada Sistem *Low Pressure*

Material	P (Mpa)	D (mm)	S (Mpa)	w	e	t (mm)
St35.8/1	1	31,8	94,5	1	1	1,33

Perhitungan tebal minimal *Low Pressure* dengan persamaan 1:

$$t = \frac{PD}{2Sw + P} + 0,005D + e$$

$$t = \frac{1 \cdot 31,8}{2 \cdot 94,5 \cdot 1 + 1} + 0,005 \cdot 31,8 + 1$$

$$t = \frac{31,8}{189 + 1} + 0,159 + 1$$

$$t = 1,33 \text{ mm}$$

Jadi tebal minimal pipa pada sistem *low pressure* yaitu 1,33 mm yang dipersyaratkan untuk bisa beroperasi, jika tebal pipa sudah mencapai nilai yang ditentukan maka harus dilakukan penggantian pipa atau *re-tubing* untuk menghindari terjadinya kegagalan yang fatal.

3.4.2 Perhitungan Pipa *High Pressure* (HP)

Data desain pipa yang dimiliki HP *Economizer* dan HP *Evaporator* juga sama, tetapi data desain pipa pada sistem *high pressure* sedikit berbeda dengan *low pressure* dikarenakan pipa bekerja pada tekanan yang dan suhu yang berbeda maka biasanya tebal desain yang dimiliki pipa pada sistem *high pressure* juga lebih tebal sedikit dibanding pipa pada sistem *low pressure*. Data desain pipa sistem *high pressure* seperti pada table 3 berikut ini.

Tabel 3. Data Pipa pada Sistem *High Pressure*

Material	P (Mpa)	D (mm)	S (Mpa)	w	e	t (mm)
St35.8/1	11	31,8	94,5	1	1	2,9

Perhitungan tebal minimal *High Pressure* dengan persamaan 1:

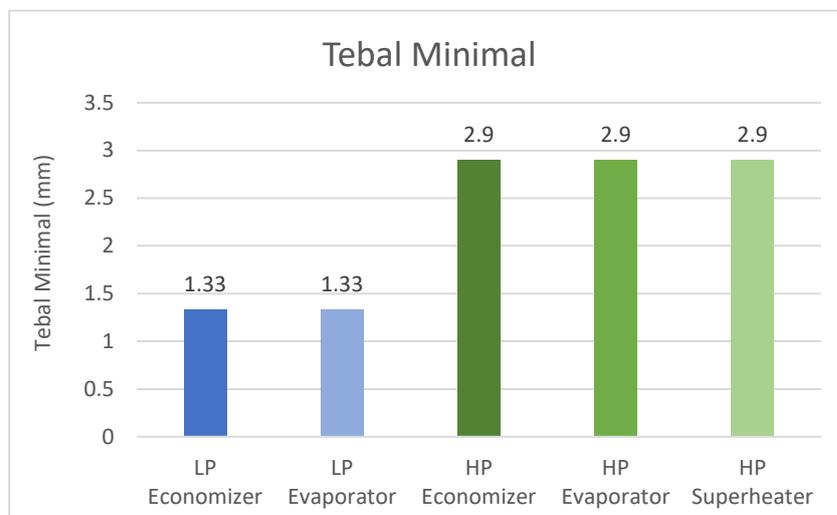
$$t = \frac{PD}{2Sw + P} + 0,005D + e$$

$$t = \frac{11 \cdot 31,8}{2 \cdot 94,5 \cdot 1 + 11} + 0,005 \cdot 31,8 + 1$$

$$t = \frac{349,8}{189 + 11} + 0,159 + 1$$

$$t = 2,9 \text{ mm}$$

Jadi tebal minimal pipa pada sistem *high pressure* yaitu 2,9 mm yang dipersyaratkan untuk bisa beroperasi.



Gambar 3. Grafik Tebal Minimal Pipa

Pada gambar 3 ditunjukkan grafik tebal minimal pipa dengan ketebalan pipa terbesar yaitu 2,9 mm yang terdapat pada pipa dengan sistem *High Pressure* dan ketebalan terkecil 1,33 terdapat pada pipa dengan sistem *Low Pressure*. Perolehan nilai ketebalan minimal ini ditentukan oleh data desain material pipa yang digunakan dan kekuatan dari material tersebut. Perbedaan nilai ketebalan pada sistem *Low Pressure* dan *High Pressure* dikarenakan tekanan dan temperatur kerja pada masing-masing sistem berbeda yaitu pada sistem *High Pressure* baik *economizer*, *evaporator*, dan *superheater* tekanan desain yang dibuat sebesar 110 bar dengan suhu operasi sampai 319 °C sedangkan pada sistem *Low Pressure* baik pada *economizer* atau *evaporator* hanya bekerja pada tekanan desain maksimal 10 bar dengan suhu saat beroperasi 160 °C. Hal ini yang menyebabkan adanya perbedaan pada perhitungan untuk menentukan tebal minimal pada masing-masing pipa. Maka batasan tebal minimal pada *High Pressure* lebih besar dibanding dengan *Low Pressure*, karena kemungkinan terjadinya kegagalan material pada sistem *High Pressure* lebih besar terjadi dan dapat dihindari (Purbolaksono et al., 2009).

3.5 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi adalah tingkat kehilangan logam akibat adanya reaksi dengan lingkungan tiap satuan waktu pada permukaan tertentu (Prayudha et al., 2018). Penentuan nilai laju korosi berdasarkan perubahan ketebalan terhadap waktu operasi menggunakan persamaan laju korosi jangka pendek dari *API 510 Pressure Vessel Inspection Code* dengan rumus laju korosi jangka Pendek atau *short term* yaitu:

$$Corrosion\ rate\ (CR) = \frac{t\ previous\ (mm) - t\ actual(mm)}{\Delta t\ (years)} \quad (2)$$

Keterangan:

Corrosion rate : Laju korosi (mm/tahun).

t previous : Nilai hasil pengukuran ketebalan material ketika dilakukan pemeriksaan sebelumnya (mm).

t actual : Nilai ketebalan hasil pengukuran saat pemeriksaan terakhir (mm).

ΔT : waktu antara *t previous* dan *t actual* (tahun).

3.5.1 Perhitungan Laju Korosi Pipa

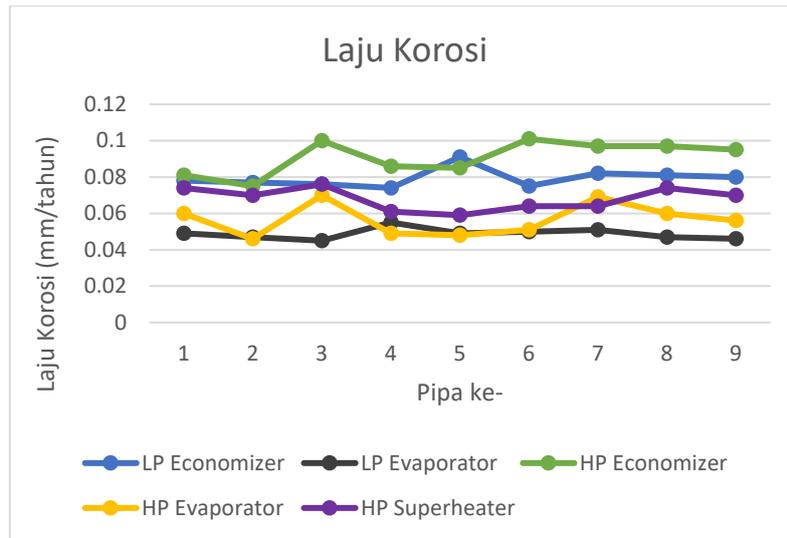
Tabel 4. Data Laju Korosi Pipa

Material	Sistem Operasi Pipa	Laju Korosi Pipa ke- (mm/tahun)									ΔT (tahun)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
St35.8/1	LP Economizer	0,078	0,077	0,076	0,074	0,091	0,075	0,082	0,081	0,080	21
	LP Evaporator	0,049	0,047	0,045	0,055	0,049	0,050	0,051	0,047	0,046	21
	HP Economizer	0,081	0,075	0,100	0,086	0,085	0,101	0,097	0,097	0,095	21
	HP Evaporator	0,060	0,046	0,070	0,049	0,048	0,051	0,069	0,060	0,056	21
	HP Superheater	0,074	0,070	0,076	0,061	0,059	0,064	0,064	0,074	0,070	21

Perhitungan laju korosi pada pipa HP *Economizer* pipa ke-6 dengan persamaan 2:

$$Corrosion\ rate\ (CR) = \frac{5,76 - 3,63}{21}$$

$$Corrosion\ rate\ (CR) = 0,101\ mm/tahun$$



Gambar 4. Grafik Laju Korosi

Gambar 4 menunjukkan grafik laju korosi setiap pipa pada sistem masing-masing. Pada grafik menunjukkan adanya penyebaran laju korosi yang tidak merata antara pipa satu dengan lainnya, tetapi dapat dilihat laju korosi yang paling besar terjadi pada sistem *High Pressure Economizer* pada pipa ke-6 yaitu 0,101 mm/tahun dan selanjutnya adalah sistem *Low Pressure Economizer* sebesar 0,091 mm/tahun pada pipa ke-5, hal ini terjadi karena didalam *economizer* masih berupa fluida atau air dimana didalam air tersebut masih terdapat senyawa klorida walapun sebelumnya sudah dilakukan pemurnian dari air laut tetapi tidak mungkin seratus persen murni dari klorida. Senyawa klorida ini yang agresif terhadap material pembangkit uap terutama sebagai pemicu adanya korosi (Sriyono and Febrianto, n.d.). Seperti penelitian yang dilakukan oleh Jasmid Edy dkk bahwa didalam air mengandung senyawa-senyawa silika dan klor yang dapat menyebabkan korosi (Edy et al., 2016). Laju korosi *HP Economizer* lebih besar dari pada *LP Economizer* dikarenakan suhu dan tekanan yang lebih besar pada *HP Economizer*, naiknya suhu dan tekanan maka gerakan elektron menjadi lebih cepat sehingga arus korosi yang terukur akan lebih besar (Sriyono and Febrianto, n.d.). Sedangkan *HP Superheater* memiliki laju korosi yang cukup tinggi juga hal ini disebabkan pipa *HP Superheater* adalah pipa yang mengalami kontak langsung pertama kali dengan gas panas sisa buang dari turbin, semakin tinggi temperature yang terkena oleh material maka akan mempercepat laju penipisan. Pipa dengan laju korosinya paling rendah adalah *LP Evaporator* sebesar 0,045 mm/tahun pada pipa ke-3 hal ini dimungkinkan pada *LP Evaporator* memiliki suhu dan tekanan operasi yang lebih rendah dari pada sistem *high pressure* yaitu antara 7 – 8 bar yang menyebabkan kontak dengan material tidak sebesar pada *high pressure* dan juga di dalam pipa sudah berbentuk

uap jenuh sehingga senyawa klor dan silika berkurang akan tetapi pada sistem HP *Evaporator* laju korosi tetap lebih besar dari pada LP *Evaporator*. Sistem *Low Pressure* bekerja pada suhu 160 °C dengan tekanan 7 – 8 bar sedangkan sistem *High Pressure* bekerja pada suhu 319 °C dan tekanan 70 – 88 bar, semakin besar suhu dan tekanan operasinya maka akan memperbesar laju korosi (Jafar and Fathi, 2015).

3.6 Perhitungan Sisa Umur Pakai

Sisa umur adalah ketahanan suatu material terhadap umur desain atau manufakturnya. Untuk menghitung sisa umur pemakaian dibutuhkan selisih nilai ketebalan actual dengan ketebalan minimum terhadap laju korosi sebagai berikut:

$$Remaining\ life = \frac{t\ actual\ (mm) - t\ required(mm)}{corrosion\ rate\ (mm/year)} \quad (3)$$

Keterangan:

Remaining Life (RL) : Sisa umur pemakaian (tahun)

t actual : Nilai ketebalan hasil pengukuran saat pemeriksaan terakhir. (mm)

t required : nilai ketebalan yang dipersyaratkan pada *design calculation* yang tidak termasuk *corrosion allowance* dan toleransi ketebalan dari pabrikan (mm)

Corrosion rate : Laju korosi (mm/tahun)

3.6.1 Perhitungan Sisa Umur Pipa

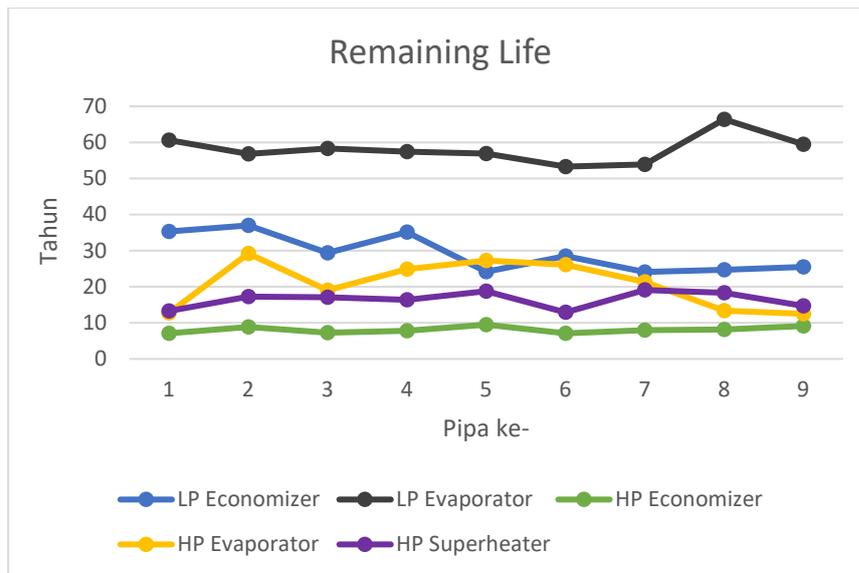
Tabel 5. Data Sisa Umur Pipa

Material	Sistem Operasi Pipa	<i>Remaining Life</i> Pipa ke- (Tahun)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
St35.8/1	LP Economizer	35,3	37,0	29,4	35,1	24,2	28,5	24,1	24,7	25,5
	LP Evaporator	60,6	56,8	58,3	57,4	56,9	53,3	53,9	66,4	59,5
	HP Economizer	7,1	8,9	7,3	7,8	9,5	7,1	8,0	8,2	9,1
	HP Evaporator	12,8	29,2	19,0	24,9	27,3	26,1	21,3	13,4	12,5
	HP Superheater	13,3	17,3	17,1	16,4	18,8	12,9	19,1	18,3	14,7

Perhitungan sisa umur pemakaian pada pipa HP *Economizer* ke-6 dengan persamaan 3:

$$Remaining\ Life = \frac{3,63 - 2,9}{0,101}$$

$$Remaining\ Life = 7,1\ tahun$$



Gambar 5. Grafik Sisa Umur Pemakaian

Gambar 5 menunjukkan grafik sisa umur pemakaian atau *remaining life* dari pipa-pipa yang terdapat dalam HRSG. Disana menunjukkan bahwa sisa umur pemakaian paling kecil yaitu pada pipa HP *Economizer* pada pipa ke-1 dan ke-6 yaitu 7,1 tahun dan yang paling besar sisa umur pemakaiannya yaitu pipa LP *Evaporator* pada pipa pipa ke-8 yaitu 66,4 tahun. Dilihat dari laju korosi pada HP *Economizer* memang sangat tinggi hal ini mempengaruhi dari pada sisa umur pemakaian, sedangkan pada LP *Evaporator* menunjukkan laju korosi yang paling rendah yang menyebabkan sisa umur pemakaian menjadi paling besar atau paling lama dibandingkan dengan pipa lainnya. Selain dilihat dari laju korosi sisa umur pemakaian ini juga dipengaruhi oleh hasil pengukuran baik tebal minimal atau tebal aktual, desain dan kekuatan material pada masing-masing pipa, hal ini juga dipengaruhi oleh kondisi saat beroperasi dimana pada pipa *high pressure* memiliki suhu operasi 316 °C dan tekanan operasi antara 70 – 88 bar, sedangkan pada pipa *low pressure* bekerja pada suhu dan tekanan yang lebih rendah dari pipa pada *high pressure*. Hal ini menyebabkan pipa pada sistem *high pressure* memiliki sisa umur yang lebih pendek dibandingkan dengan pipa dengan sistem *low pressure* (Ananda Rao et al., 2018).

4. PENUTUP

Berdasarkan perhitungan dan analisis terhadap data yang diperoleh mengenai peramalan sisa umur pemakaian *Heat Recovery Steam Generator* dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1). Pemeriksaan visual dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung terhadap benda yang diperiksa dengan cara melihat kondisi fisik objek.
- 2). Perhitungan tebal minimal didapatkan dari data desain dan kekuatan material, tebal minimal pada sistem *Low Pressure* sebesar 1,33 mm dan pada sistem *High Pressure* sebesar 2,9 mm. Perhitungan menggunakan rumus pada *ASME BPVC Section I* tentang *Rules for Construction of Power Boilers*.
- 3). Laju korosi atau laju penipisan paling besar terdapat pada pipa HP Economizer yaitu 0,101 mm/tahun pada pipa ke-6 dan laju korosi paling kecil atau paling lama terdapat pada pipa LP Evaporator yaitu 0,045 mm/tahun pada pipa ke-3.
- 4). Perkiraan sisa umur pemakaian paling kecil yaitu pada pipa HP Economizer pada pipa ke-6 yaitu 7,1 tahun dan yang paling besar sisa umur pemakaiannya yaitu pipa LP Evaporator pada pipa ke-5 yaitu 66,4 tahun.
- 5). Perkiraan sisa umur pemakaian dipengaruhi oleh laju korosi dan kekuatan dan desain material, rata-rata sisa umur pemakaian yang paling singkat terjadi pada pipa *high pressure*.
- 6). Perhitungan tebal minimal dan perkiraan sisa umur pemakaian digunakan untuk memperkecil kemungkinan terjadinya kegagalan seperti kebocoran pada pipa akibat tipisnya permukaan pipa dan digunakan untuk memprediksi untuk dilakukan penggantian pipa.

PERSANTUNAN

Berkat rahmat Allah SWT atas segala nikmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak luput dari bantuan dari orang-orang terdekat penulis, maka penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua terutama ibu saya yang selalu mendoakan dan memberi semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini.
2. Bapak Hasyim Asy'ari selaku dosen pembimbing yang memberikan masukan dan bimbingan selama mengerjakan tugas akhir sehingga mendapatkan hasil yang maksimal.
3. Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta Bapak Umar, S.T.,M.T dan seluruh dosen Jurusan Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.

4. Mas Dikki dan Mas Fuad dan teman-teman lainnya yang membantu dalam memahami ASME untuk menyelesaikan tugas akhir ini sendiri.
5. Teman-teman KMTE Robot Research yang selalu memberi dukungan dalam proses pembelajaran selama ini.
6. Teman-teman Teknik Elektro 2016 dan kelas D yang selalu mendukung proses perkuliahan selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda Rao, M., Sekhar Babu, R., Pavan Kumar, M.V., 2018. Stress corrosion cracking failure of a SS 316L high pressure heater tube. *Eng. Fail. Anal.* 90, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.03.013>
- Auliya, N., 2019. Prediksi Sisa Umur Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Blok 2.2 PT. X 7.
- Edy, J., Handayasari, I., Nasirudin, M., 2016. Perhitungan Ketebalan Dan Sisa Umur LP Drum HRSG 1.1 PLTGU Muara Karang. *J. Powerpl.* 4, 33–37. <https://doi.org/10.33322/powerplant.v4i1.833>
- Jafar, S.A., Fathi, M.I., 2015. Reducing of Corrosion Rate in Boiler Tubes by Using Oxygen Scavengers 9.
- Khoirul, F., Amin, M., Subri, M., 2017. ANALISA SISA UMUR PEMAKAIAN (REMAINING LIFE ASSESMENT) AIR RECEIVER COMPRESSOR TANK MENGGUNAKAN METODE ULTRASONIC TEST 17, 11.
- Munthe, F.D., 2014. Pengukuran Ketebalan Serta Posisi Cacat Pada Sampel Carbon Steel Dan Stainless Steel Dengan Metode Ultrasonic Testing (Journal:eArticle). Universitas Brawijaya.
- Prayudha, D., Moralista, E., Ashari, Y., 2018. Penentuan Laju Korosi dan Sisa Umur Pakai (Remaining Service Life/Rsl) pada Jalur Pipa Transportasi Crude Oil dari Spu-A Mundu ke Terminal Balongan di PT Pertamina Ep Asset 3 Jatibarang Field, Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat. *Pros. Tek. Pertamb.* 0, 511–520.
- Purbolaksono, J., Khinani, A., Ali, A.A., Rashid, A.Z., Nordin, N.F., 2009. Iterative technique and finite element simulation for supplemental condition monitoring of water-tube boiler. *Simul. Model. Pract. Theory* 17, 897–910. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2009.02.009>
- Sriyono, Febrianto, n.d. The Corrosion Rate Measurement of Inconel 690 on High Temperature and Pressure by Using CMS100.
- T. A. S. o. M. Engineers, "ASME Section I Rules for Construction of Power Boilers, Boiler and Pressure Vessel Code," ed, 2015.
- The American Petroleum Institute. 2000. *Pressure Vessel Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration*. Washington D.C.: The American Petroleum Institute.
- The American Society of Mechanical Engineers. 2015. ASME BPVC Section IID – Material. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- The American Society of Mechanical Engineers. 2015. ASME BPVC Section V – Nondestructive Examination. New York: The American Society of Mechanical Engineers.