



Studi Eksperimen Ketahanan Korosi, Keausan, dan Kekerasan pada Material Baja Paduan SS 316 Sebagai Bahan Sterntube Seal Liners pada Kapal

Muhammad Annas Pratama ^{1)*)}

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

diajukan pada : 06/03/18

direvisi pada : 09/04/19

diterima pada : 11/04/19

Abstrak

Kegagalan sistem propulsi khususnya pada bagian tailshaft dan aft-end, sebagian besar terjadi dengan kasus berupa masuknya atau merembesnya air laut. Kegagalan ini disebabkan oleh beberapa hal, salah satunya ialah keausan pada Liners akibat mengalami kontak dengan objek asing selama perputaran poros. Baja paduan SS 316 merupakan paduan dengan sifat ketangguhan yang baik, serta tahan terhadap korosi sehingga umum diaplikasikan pada industri marine. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan, kemampuan ketahanan aus, serta korosi daripada paduan SS 316 untuk dijadikan material Liners dengan tolak ukur regulasi dan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian dilaksanakan dengan melakukan pembuatan specimen uji sesuai dengan standar ASTM yang kemudian diuji di Laboratorium DTMI UGM sesuai prosedur pengujian Kekerasan Rockwell, Keausan, dan Korosi. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan nilai kekerasan sebesar 84 HRB untuk nilai tertinggi, dengan rata-rata tertinggi sebesar 82.33 HRB serta pengikisan kedalaman akibat keausan rata-rata sebesar 0.2405 mm/jam. Sedangkan untuk pengujian korosi didapatkan laju korosi sebesar 1.2065×10^{-3} mm/year. Dengan demikian, disimpulkan untuk ketahanan korosi dikategorikan Outstanding, namun nilai kekerasan paduan SS 316 dianggap belum cukup untuk dapat dikategorikan fair terhadap ketahanan aus, sehingga diperlukan perlakuan khusus untuk meningkatkan kekerasan paduan SS 316, yang nantinya berdampak pada kemampuan material dalam menghadapi keausan.

Copyright © 2019, **KAPAL**, 1829-8370 (p), 2301-9069(e)

Kata Kunci : SS 316, Liners, Kekerasan, Korosi, Keausan

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan penelitian yang diadakan oleh *Lloyd's Register* mengenai kegagalan pada sistem propulsi, sebesar 24 % terjadi pada bagian *Forward Seal* yang terdapat pada kamar mesin, serta sebesar 43 % terjadi pada *Aft Seal* yang berada pada ceruk buritan dan langsung berhubungan laut [1]. Secara umum kegagalan sistem pada sistem propulsi terjadi pada bagian *aft-Seal*, dan kasus yang sering terjadi ialah masuknya atau merembesnya air laut akibat terjadinya kebocoran pada bagian tersebut [2].

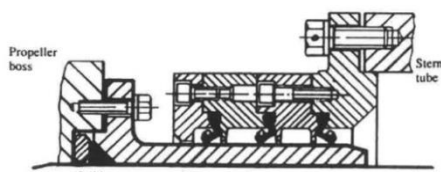
Secara teori apabila terdapat kotoran, pasir, atau objek asing yang masuk di sela-sela *Rubber Seal* dan *Liners* maka objek asing tersebut ikut mengalami kontak dengan permukaan *Seal Liners*, sehingga memungkinkan *Seal Liners* mengalami keausan. Selain itu instalasi *Aft-Seal* berinteraksi langsung dengan air laut, sehingga sangat rentan terhadap korosi yang dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen. Oleh sebab itu sangat diperlukan penelitian untuk mensimulasikan serta melakukan analisa proses keausan pada *Liner*, sehingga dapat memprediksi ketahanan material sebagai bahan *Sterntube Seal Liners* kapal.

*) Penulis Korespondensi :

Email : Muhammad_Annas_Pratama@yahoo.com

Pada penelitian Eko S. [3], telah dilakukan penelitian kontak *Rolling-Sliding*. Kontak *Rolling-Sliding* merupakan suatu peristiwa dimana suatu benda mengalami kontak *rolling*, namun dengan kecepatan yang tidak sama [3]. Akibatnya terjadilah *slip* saat peristiwa kontak *rolling-sliding* terjadi. *Slip* yang diakibatkan oleh peristiwa kontak tersebut dapat menimbulkan keausan. Pada penelitian tersebut, membahas suatu pendekatan yang dapat digunakan untuk menghitung kedalaman keausan akibat terjadinya kontak *rolling-sliding*. Dengan menggunakan pendekatan kontak *rolling-sliding* dalam pembahasan, dimaksudkan agar dapat digunakan untuk mensimulasikan kasus terjadinya keausan pada *Seal Liners* kapal.

Dengan latar belakang diatas, maka tujuan daripada penelitian ini ialah untuk mengetahui Nilai Kekerasan, Ketahanan Korosi, Keausan Spesifik serta Ketahanan Aus yang kemudian digunakan untuk menganalisa sifat mekanis paduan. Sehingga nantinya dapat disimpulkan layak atau tidaknya baja SS 316 sebagai material utama *Stern tube Seal Liner* pada kapal.



Gambar 1. Pemasangan *Outboard Stern tube Lip Seal*

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data

Dasar teori dan sumber rujukan berasal dari buku-buku, majalah, modul, artikel, jurnal dan melalui internet. Sehingga dapat mempelajari karakteristik material baja paduan SS 316, serta mempelajari pengujian Kekerasan, Keausan, dan Korosi. Data utama didapatkan dari hasil pengujian. Adapun objek penelitian ialah baja paduan SS 316. SS 316 merupakan logam yang dikategorikan sebagai *Mild steel* juga tergolong sebagai baja nirkarat atau *stainless steel*. Hal yang membedakan antara baja nirkarat dengan baja biasa ialah, pada baja nirkarat terdapat sejumlah besar kandungan Krom dan Nickel yang memberikan sifat tahan korosi pada baja.

Sifat tahan korosi pada *stainless steel* tidak serta merta membuat *stainless steel* tidak dapat terserang korosi, karena pada kenyataannya *stainless steel* dapat mengalami korosi batas butir (*intergranular corrosion*), korosi lubang (*crevice*

corrosion), dan retakan korosi tegangan (*stress corrosion cracking*) [4]. Adapun kandungan utama SS 316 ialah Besi (Fe), Karbon (C), Nikel (Ni), serta Krom (Cr). Baja SS 316, memiliki kandungan paduan baja dengan Krom (Cr) hingga sebesar 18 %, Nikel (Ni) hingga Sebesar 14 %, dan unsur-unsur lain hingga 100 %.

Pada penelitian ini, diperlukan cairan elektrolit untuk memicu terjadinya peristiwa oksidasi pada material uji dalam pengujian korosi. Cairan elektrolit pada pengujian korosi, merupakan campuran *aquadest* dengan senyawa yang bersifat korosif. Cairan elektrolit akan dibuat berdasarkan kandungan NaCl di pesisir pantai Indonesia. Kandungan unsur yang terdapat pada air laut yang diambil dari pantai Aceh, Tanjung Mas dan Samas menunjukkan kandungan natrium klorida (NaCl) yang hampir sama yaitu sekitar 3% [5].

Pada penelitian ini pengujian dilaksanakan di Laboratorium bahan teknik DTMI UGM, juga terdapat simulasi perhitungan keausan pada *Seal Liners* dengan asumsi dimensi diameter *Liner* 600 mm, diameter maksimum poros *propeller* sebesar 570 mm, sehingga memiliki ketebalan dinding terusan *Liners* 30 mm. Diasumsikan juga material diaplikasikan sebagai material *Stern tube Seal Liner* yang beroperasi pada draught 10 m, dan RPM poros sebesar 100 RPM Serta menggunakan regulasi *Lloyd's Register* sebagai tolak ukur perhitungan ketebalan dinding *Seal Liners*. [6]

2.2. Parameter Penelitian

Terdapat beberapa parameter yang dijadikan tolak ukur dan batasan dalam penelitian yang akan dilakukan, baik dari jenis pengujian yang dilakukan maupun jenis standarisasi pembuatan spesimen uji. Adapun beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini ialah:

1. Uji Komposisi Unsur

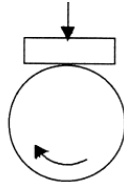
Merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur secara detil. Fungsi daripada pengujian komposisi ini adalah sebagai rujukan dalam menghitung nilai *EQ* dalam pengujian korosi.

2. Uji Kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan metode *Rockwell*, pengujian dikelompokkan berdasarkan skala menurut jenis material yang akan diuji. Skala ini juga menentukan jenis indentor serta besaran nilai kekerasan yang akan didapatkan. Pada penelitian ini pengujian akan menggunakan *Rockwell* Skala B dengan beban total sebesar 100 Kgf dan *Intendor* berupa bola baja berukuran 1/16".

3. Uji Keausan

Metode Uji Keausan yang digunakan untuk penelitian ini ialah mengacu pada metode yang dilakukan oleh Selcuk, yaitu interaksi material padat yang digesekkan pada disk yang berputar (*plate-on-disc*) [7]. Pada penelitian ini spesimen digesek dengan beban 2.12 kgf, jarak pengaus sebesar 66.6 meter, dengan variasi waktu bervariasi dari 30, 45, 60, 120, dan 240 detik. Adapun formula untuk menghitung keausan spesifik menggunakan persamaan 1 : [8]



Gambar 2. Pengujian keausan *plate-on-disc*

$$W_s = \frac{B \cdot b_o^3}{8 \cdot r \cdot P_o \cdot L_o} \quad (1)$$

Dimana, W_s ialah nilai spesifik keausan (mm^2/kgf), B ialah tebal piringan pengaus (mm), b_o adalah lebar keausan spesimen (mm), P_o ialah Pembebanan saat uji keausan (kgf), dan L_o adalah jarak tempuh saat proses pengausan (m).

Pengujian keausan juga digunakan pendekatan rumus kontak *Rolling-Sliding* untuk melakukan perhitungan simulasi keausan pada persamaan 2. [9]

$$\frac{hw}{s} = K_d \cdot P \quad (2)$$

Dimana, hw ialah kedalaman keausan (mm), s ialah jarak *Sliding* (mm), K_d ialah koefisien keausan berdimensi/Keausan Spesifik (mm^2/Kgf), dan P adalah Tekanan Kontak (Kgf/mm^2)

Sedang untuk tekanan kontak, didapatkan dengan menggunakan persamaan tekanan hidrostatik dengan menggunakan persamaan 3.

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (3)$$

Dimana, P adalah tekanan (Kgf/mm^2), ρ ialah massa jenis air laut ($1025 \text{ Kg}/\text{m}^3$), g adalah percepatan gravitasi ($9.807 \text{ m}/\text{s}^2$), dan h ialah kedalaman (m)

4. Uji Korosi

Pengujian korosi pada penelitian ini berfungsi untuk menghitung laju korosi menggunakan metode elektrokimia *potentiodynamic* yang mana untuk menghitung nilai EQ dari suatu logam paduan ialah pada persamaan 4. dan 5. : [10]

$$EW = N_{EQ}^{-1} \quad (4)$$

$$N_{EQ}^{-1} = \sum \left[\frac{\omega_i}{a_i/n_i} \right] = \sum \left[\frac{\omega_i n_i}{a_i} \right] \quad (5)$$

Dimana, E ialah berat ekuivalen, N_{EQ} ialah nilai ekuivalen total, ω_i adalah fraksi berat, a_i ialah nomor massa atom, dan n_i adalah elektron valensi

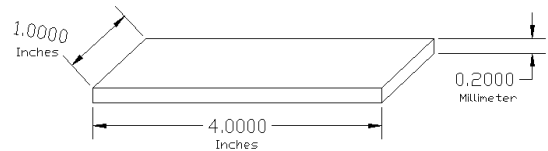
Setelah didapatkan nilai berat ekuivalennya (*Equivalent Weight*) maka selanjutnya dapat menghitung laju korosi dengan menggunakan persamaan 6. [11]

$$r = 0,129 \frac{a_i}{nD} \quad \text{atau} \\ r = 0,129 \frac{i_{corr}(EW)}{D} \quad (6)$$

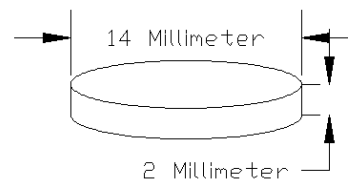
Dimana, r ialah laju korosi (mpy), a ialah nomor massa atom, i adalah rapat arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$), n adalah valensi atom, dan D ialah berat jenis specimen (gr/cm^3)

5. Dimensi Spesimen

Standar yang digunakan dalam membuat spesimen ialah ASTM, yang mana dimensi spesimen ialah sebagai berikut :



Gambar 3. Bentuk spesimen uji kekerasan dan keausan [12] [13]



Gambar 4. Bentuk spesimen uji korosi [14]

2.3. Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan penelitian berupa sarana peralatan yang digunakan dalam pembuatan spesimen maupun pengambilan data.

Peralatan

1. Raw Material SS 316
2. Mesin Bubut
3. Mesin Pemotong Hydraulic
4. Ogoshi Wear Testing Machine
5. Mesin Uji Kekerasan
6. Timbangan Scientific
7. Gelas Ukur, Gelas Beker, & Tabung Labu

Bahan

1. *Aquadest*
2. Serbuk NaCl
3. Pasta Pemoles Logam (*Autosol*)
4. Alkohol
5. Kertas Ampelas 320 grit, 600 grit, 1000 grit, 1500 grit, dan 2000 grit

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Uji Komposisi Unsur

Data-data yang diperoleh dari studi karakterisasi material paduan SS 316 yang selanjutnya digunakan sebagai data acuan dalam proses pengujian selanjutnya, khususnya dalam perhitungan uji korosi. Hasil yang diperoleh dari pengujian ialah sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi

No	Unsur	% Kandungan Unsur
1.	C	0.0549
2.	Si	0.4711
3.	S	0.0007
4.	P	0.0298
5.	Mn	0.9600
6.	Ni	8.0778
7.	Cr	17.4286
8.	Mo	0.0896
9.	Cu	0.1442
10.	W	0.1610
11.	Ti	0.0052
12.	Sn	0.0113
13.	Al	0.0110
14.	Nb	0.0211
15.	V	0.0538
16.	Co	0.2394
17.	Pb	0.0000
18.	Ca	0.0005
19.	Zn	0.0486
20.	Fe	72.34

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa kandungan karbon yang kecil pada paduan SS 316 menjadikan SS 316 tergolong sebagai *Mild Steel*.

3.2. Hasil Pengujian Kekerasan

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan nilai kekerasan benda uji pada setiap spesimen memiliki nilai yang sedikit berbeda. Adapun perolehan nilai hasil uji kekerasan, ditunjuk kan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan (dalam HRB)

No Spesimen	Titik 1	Titik 2	Titik 3
1	84	84	79
2	81	82	83
3	82	83	79
4	82	82	82
5	83	82	82

Tabel 3. Rata-rata Nilai Kekerasan (dalam HRB)

No Spesimen	Rata-rata
1	82.33
2	82
3	81
4	82
5	82.33

Dari tabel 3. didapatkan nilai kekerasan maksimal untuk nilai kekerasan rata-rata sebesar 82.33 HRB. Adapun nilai kekerasan maksimal menurut tabel 2 ialah sebesar 84 HRB. Menurut jurnal *Review of the Wear and Galling Characteristics of Stainless Steels* [15], material *Stainless Steel* dapat dikatakan *Fair* atau cukup dalam ketahanan terhadap keausan tanpa pelumas, setidaknya memiliki nilai kekerasan sebesar 12.5 HRC atau bila dikonversikan ke dalam skala HRB bernilai sebesar 91 HRB. Dengan demikian nilai kekerasan material belum dapat dikatakan *fair* untuk menghadapi keausan.

3.3. Hasil Pengujian Keausan

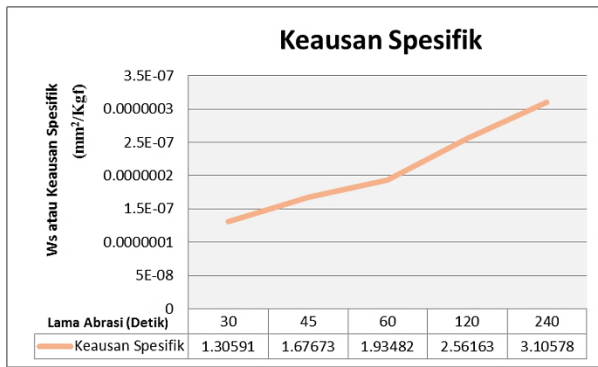
Besarnya jejak permukaan dari spesimen yang tergesek dengan pembeda variasi waktu gesek didapatkan, kemudian besarnya jejak tersebut digunakan untuk menghitung keausan spesifik dengan menggunakan persamaan 1 [8].

$$W_s = \frac{B \cdot b \cdot o^3}{8 \cdot r \cdot P \cdot o \cdot L \cdot o} \quad (1)$$

Sehingga didapatkan hasil keausan spesifik sebagai berikut :

Tabel 4. Data Hasil Uji Keausan Spesifik

Lama Abrasi	bo (mm)	Ws (mm ² /kgf)
30 Detik	0.9035	1.30591 x 10 ⁻⁷
45 Detik	0.982	1.67673 x 10 ⁻⁷
60 Detik	1.030	1.93482 x 10 ⁻⁷
120 Detik	1.131	2.56163 x 10 ⁻⁷
240 Detik	1.206	3.10578 x 10 ⁻⁷



Gambar 5. Grafik hasil pengujian keausan spesifik

Selanjutnya menghitung tekanan kontak pada permukaan *Liners* menggunakan persamaan 3.

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (3)$$

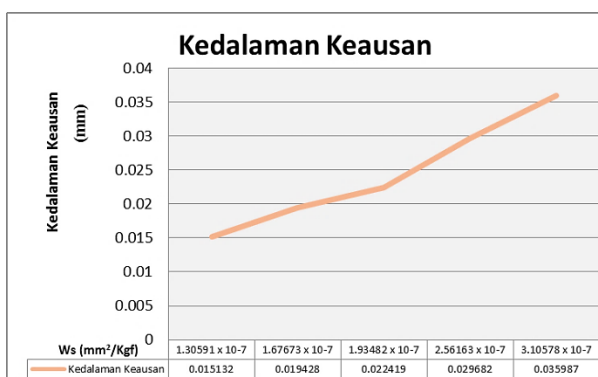
Hasilnya, didapatkan tekanan kontak sebesar 100.52175 N/m² atau 0.01025037 Kgf/mm². Dengan asumsi bahwa diameter *Seal Liner* sebesar 600 mm dan RPM poros sebesar 100 RPM, maka didapatkan jarak *sliding* sebesar 11304000 mm dalam satu jam. Setelah didapatkan tekanan kontak dan jarak *sliding* selanjutnya menghitung pengkisan kedalaman dengan menggunakan persamaan 2. [9]

$$\frac{hw}{s} = Kd \cdot P \quad (2)$$

Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 5. Perhitungan Kedalaman Keausan per Jam

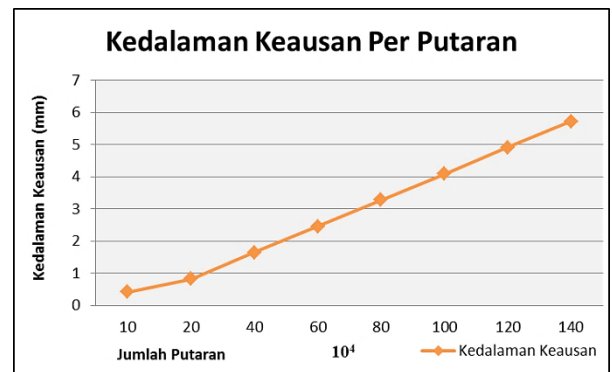
No	Keausan Spesifik (mm ² /Kgf)	Kedalaman Keausan (mm)
1	1.30591 x 10 ⁻⁷	0.01513 mm
2	1.67673 x 10 ⁻⁷	0.01943 mm
3	1.93482 x 10 ⁻⁷	0.02242 mm
4	2.56163 x 10 ⁻⁷	0.02968 mm
5	3.10578 x 10 ⁻⁷	0.03599 mm
	Rata-rata	0.02453 mm



Gambar 6. Grafik hasil perhitungan kedalaman keausan per Jam

Tabel 6. Hasil Perhitungan Kedalaman Keausan per Putaran

No	Jumlah Putaran	Kedalaman Keausan (mm)
1	1 x 10 ⁵	0.408824723 mm
2	2 x 10 ⁵	0.817649446 mm
3	4 x 10 ⁵	1.635298892 mm
4	6 x 10 ⁵	2.452948339 mm
5	8 x 10 ⁵	3.270597785 mm
6	10 x 10 ⁵	4.088247231 mm
7	12 x 10 ⁵	4.905896677 mm
8	14 x 10 ⁵	5.723546123 mm



Gambar 7. Grafik hasil perhitungan kedalaman keausan per putaran

Selanjutnya ialah mensimulasikan terjadinya keausan pada *Liner* dan menerapkan *Rules Lloyd's Register* menggunakan persamaan 7. [6]

$$t = \frac{D + 230}{32} \text{ mm} \quad (7)$$

Dimana *t* adalah tebal minimal *Liner* yang dibutuhkan, dan *D* ialah diameter *Propeller Shaft*.

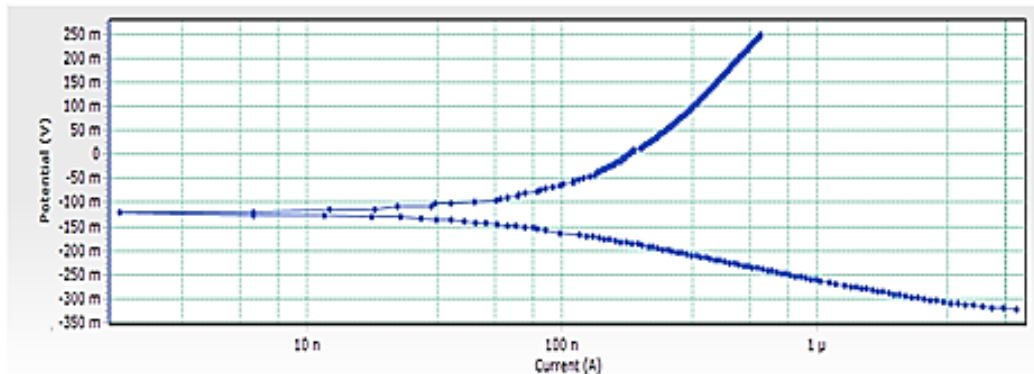
Ketebalan yang dipersyaratkan oleh regulasi ialah 25 mm. Jadi, diperkirakan *Liner* dapat bertahan menurut regulasi yang telah ditetapkan, selama kurang lebih 200 jam sejak awal kontak.

3.4. Hasil Pengujian Korosi

Pada pengujian korosi, material diuji dengan dimasukkan ke dalam tabung labu yang berisi cairan elektrolit, kemudian diberi beda potensial sehingga terjadi peristiwa korosi sehingga didapatkan hasil pada tabel 7 dan Gambar 8.

Tabel 7. Data Hasil Pengujian Korosi

Variabel	Nilai
E(I=0)	-125.301 mV
Icorr	92.385 nA
Cathodic Beta	125.801 mV
Anodic Beta	435.219 mV



Gambar 8. Grafik *Potential (V) vs Current (A)*

Selanjutnya ialah menghitung nilai N_{EQ}^{-1} dengan menggunakan data dari Tabel 1 dan Tabel periodik unsur untuk menghitung nilai N_{EQ}^{-1} dengan menggunakan persamaan 5. [10]

$$N_{EQ}^{-1} = \sum \left[\frac{\omega_i}{a_i/n_i} \right] = \sum \left[\frac{\omega_i n_i}{a_i} \right] \quad (5)$$

Sehinggadidapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 8. Nilai Equivalen Total

No	Unsur	Nilai Equivalen Total
1.	C	0.00018283
2.	Si	0.00067094
3.	S	0.00000131
4.	P	0.00004810
5.	Mn	0.00034948
6.	Ni	0.00275256
7.	Cr	0.00335191
8.	Mo	0.00001868
9.	Cu	0.00002269
10.	W	0.00001752
11.	Ti	0.00000217
12.	Sn	0.00000190
13.	Al	0.00001223
14.	Nb	0.00000454
15.	V	0.00002112
16.	Co	0.00008124
17.	Pb	0.0000
18.	Ca	0.00000025
19.	Zn	0.00001487
20.	Fe	0.02590742

Selanjutnya menggunakan Persamaan 4 [10]

$$EW = N_{EQ}^{-1} \quad (4)$$

Didapatkan nilai EW sebesar 29.8848. Selanjutnya menghitung laju korosi guna menentukan kategori ketahanan korosi dari paduan SS 316 dengan menggunakan persamaan 6 [11].

$$r = 0,129 \frac{i_{corr}(EW)}{D} \quad (6)$$

Didapatkan nilai laju korosi sebesar 0.0475 *mpy* atau bila dikonversikan menjadi satuan metrik ialah sebesar $1.2065 \times 10^{-3} \text{ mm/year}$. Menurut *D.A Jones*, laju korosi dapat dikategorikan sebagai berikut : [11]

Tabel 9. Perbandingan ketahanan korosi dalam *mpy* dan *metric*

<i>Relative Corrosion Resistance</i>	<i>mp y</i>	<i>mm year</i>	<i>μm year</i>	<i>nm year</i>	<i>pm year</i>
<i>Outstandin g</i>	<1	<0,02	<25	<2	<1
<i>Excelent</i>	1-5	0,02-0,10	25-100	2-10	<1
<i>Good</i>	5-20	0,10-0,50	100-500	10-50	20-50
<i>Fair</i>	20-50	0,50-1,00	500-1000	50-150	50-150

Sehingga hasil laju korosi untuk material SS 316 dikategorikan sebagai material yang *Outstanding* (Mengagumkan) dalam ketahanannya terhadap korosi.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian kekerasan baja paduan SS 316 dengan menggunakan metode *Rockwell* skala B menghasilkan tingkat kekerasan yang cukup homogen. Nilai kekerasan dari material baja paduan SS 316 tanpa perlakuan khusus memiliki nilai rata-rata sebesar 81 HRB, 82 HRB, dan 82.33 HRB dengan nilai tertinggi sebesar 84 HRB. Belum memenuhi nilai kekerasan minimal untuk dapat dikategorikan *fair* terhadap keausan yang mana untuk dapat dikategorikan *fair*, dibutuhkan nilai kekerasan sebesar 12.5 HRC atau 91 HRB.

Hasil pengujian keausan baja paduan SS 316 dengan variasi waktu abrasif menghasilkan harga nilai keausan abrasif yang cukup bervariasi. Didapatkan nilai pengikisan kedalaman rata-rata sebesar 0.02453 mm/Jam. Merujuk pada regulasi *Lloyd's Register* yang mengharuskan memiliki ketebalan minimal 25 mm untuk beroperasi, maka *Liner* dapat bertahan dengan ketebalan diatas 25 mm selama kurang lebih 200 jam setelah kontak.

Hasil pengujian laju korosi baja paduan SS 316, pada elektrolit NaCl 3.5% dengan metode *Polarisasi Potentiodynamic*, didapatkan *icorr* sebesar 92.385 nA. Kemudian dihitung nilai laju korosi daripada baja paduan SS 316 dan dihasilkan nilai sebesar 0.0475 *mpy* yang kemudian dikonversikan ke dalam satuan matriks menjadi 1.2065×10^{-3} mm/year, dan dapat dikategorikan memiliki kemampuan *Oustanding* dalam ketahanan terhadap korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thornhill, John Bsc. "*The Challenge of Stern Tube Bearings and Seals*". Jurnal Society of Naval Architect and Marine Engineers. : *unpublished*.
- [2] Heck, J.W. dan Baker, E. 1963. "*Marine Propeller Shaft Casualties*". New York. Transactions of Society of Naval Architect and Marine Engineers. Vol. 71. pp. 327-346.
- [3] Saputra, E. dkk. 2011. "*Perhitungan Keausan pada Kontak Rolling-Sliding*". Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan (Semantik).
- [4] Ornelasari, R. 2015. "*Analisa Laju Korosi Pada Stainless Steel 304 Menggunakan Metode ASTM G31-72 Pada Media Air Nira Aren*". Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya. Volume 01 Nomor 01 Tahun 2015, 112-117.
- [5] Ispandriatno, A.S. dan Krisnaputra, R. 2015. "*Ketahanan Korosi Baja Ringan di Lingkungan Air Laut*". Jurnal Teknologi Material Proses, Volume 1, Nomor 1, Universitas Gadjah Mada.
- [6] *Lloyd's Register*. 2016. "*Lloyd's Regulations for the classification of ships*" Part 5 Ch.6 Section 3
- [7] Selcuk, B., Ipek, R. dan Karamis M.B. 2003. "*A Study on Friction and Behaviour of Carburized, Carbonitrided and Borided AISI 1020 and 5115 Steel*". Journal of Materials Processing Technology. Vol 141
- [8] Tokyo Testing Machine Mfg. Co., Ltd. *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine Instruction Manual*. Manual Instruction Book. : *unpublished*.
- [9] J.F. Archard. 1980. *Wear theory and mechanisms*. In: Peterson MB, Winer WO, editors. *Wear control handbook*. New York: ASME.
- [10] Möller, H. 2006. "*The Corrosion Behaviour of Steel in Sea Water*". The Shouthern African Institute of Mining and Metallurgy 8th. International Corrosion Conference.
- [11] Jones, D.A.. 1991. *Principles and Prevention of Corrosion*. McMillan Publishing Company. New York
- [12] ASTM Standards. E18-15. "*Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metallic Materials*". Philadelphia. American Standard Testing and Material.
- [13] ASTM Standards. G-65. "*Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus*". Philadelphia. American Standard Testing and Material.
- [14] ASTM Standards. G-31. "*Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*". Philadelphia. American Standard Testing and Material.
- [15] Committee of Stainless Steel Producers. American Iron and Steel Institute. 1978. "*Review of the Wear and Galling Characteristics of Stainless Steel*". Washington. DC. Committee of Stainless Steel Producers. American Iron and Steel Institute.