

Effect Of Plastic Deformation Of Material Carbon Steel A53 Gr B to Hardness Value and Corrosion Rate Value on CPO and Steam

Rafi Tri Noviyanto^{1*}, Budi Prasajo², Endah Wismawati³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1,2,3}

E-mail: Rafitri38@gmail.com^{1}; budiprasajo1968@gmail.com^{2*}; endahsyaputra60@gmail.com^{3*}*

Abstract - In this final project will discuss the effect plastic deformation on A53 Gr B carbon steel to hardness value and corrosion rate value in CPO and steam fluid. Object in this observatorium is done on heating coil pipe diameter 2.5 inch sch 40 used for heating CPO in storage tanks. This observation in roll bending radius ~ mm, 500 mm, 350 mm and steam and CPO at temperature 80 ° C, 100 ° C and 125 ° C. Standard used for hardness testing is ASTM E-92. The standard use for testing this corrosion rate is ASTM G31-72. The calculation of lifetime using API 570. The result showed that the thickness and the hardness of the straight pipe at the test point of 270° (5.1 mm and ± 161,358 HV), pipe radius 500 mm (5.0 mm and 171.913 HV), pipe radius 350 mm (4.7 mm and 178,537 HV). The total corrosion rate value CPO and steam for straight pipe (R. ~) (0.17895 mm / y), pipe radius 500 mm (0.20574 mm / y), pipe radius 350 mm (0.2362 mm / y). The calculation result lifetime of straight pipe (R. ~) (23 years), pipe radius 500 mm (20 years), pipe radius 350 mm (16 year).

Keyword : corrosion rate, crude palm oil, deformasi plastis, vickers hardness

1. PENDAHULUAN

PT.X merupakan industri yang bergerak pada bidang EPC (*Engineering procurement and construction*). Salah satu *project* yang dikerjakan saat ini adalah pembuatan industri penyimpanan CPO (*crude palm oil*) di daerah Port Nilam Surabaya. CPO akan didistribusikan dari pelabuhan menuju *storage tank* dengan suhu 55°C. Pada *storage tank* suhu CPO harus terjaga 50°C.

Untuk memenuhi suhu tersebut, diperlukan *steam* bersuhu 125°C yang akan dialirkan dari *boiler house* menuju *storage tank* melalui *heating coil pipe*. *Storage tank* memiliki kapasitas 5600 KL dengan menggunakan desain *serpentine heating coil*. Material *heating coil* yang digunakan yaitu *carbon steel* A53 gr B.

Penelitian ini akan membahas tentang pengaruh deformasi plastis pada pipa yang diakibatkan oleh *roll bending* terhadap nilai kekerasan dan laju korosi pada media CPO dan *steam*. Analisa ini juga meliputi pengaruh kenaikan suhu pada uji korosi. Dimana nantinya akan diketahui tentang *lifetime* material pipa pada setiap tingkat deformasinya.

Seperti yang di bahas pada jurnal Apriansyah, R. A., *Jurnal ROTOR*, Volume 10 Nomor 1, April 2017 Universitas Jember yang berjudul “Analisis Ketahanan Korosi Pipa A53 Pada Lingkungan Oil Sludge dengan Metode C-RING” bahwa kekerasan pada spesimen meningkat seiring dengan semakin besar gaya *bending* yang diberikan sehingga terjadi pengerasan regang pada spesimen. Dan

deformasi plastis yang terjadi pada material sangat mempengaruhi laju korosi^[4].

2. METODOLOGI

Korosi adalah serangan terhadap logam yang bersifat merusak, menurunkan mutu atau kualitas pada logam tersebut yang terjadi akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi yang terjadi tidak dapat dihindari, dicegah maupun dihentikan melainkan hanya dapat diminimalkan atau diperlambat lajunya.

Dalam perkembangannya banyak metode-metode yang digunakan untuk meminimalisir laju korosi antara lain metode *cathodic protection*, penambahan *inhibitor coating* dll. Pemilihan metode tersebut disesuaikan dengan kebutuhan serta pertimbangan faktor lingkungan sekitar.

2.1 Hardness

Kekerasan merupakan kemampuan material untuk menahan deformasi plastis yang sifatnya terlokalisasi pada suatu material yang dapat disebabkan oleh tusukan maupun goresan. Untuk mengetahui kekerasan suatu material diperlukan adanya suatu pengujian kekerasan yang sering disebut dengan uji kekerasan atau *hardness test*.

Kekerasan (*hardness*) suatu bahan boleh jadi merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena pengujian ini dapat digunakan untuk menguji homogenitas suatu material. Nilai kekerasan pengujian ini dinyatakan dalam satuan HV (*Hardness Vickers*) yang dihitung

berdasarkan diameter indentasi dengan persamaan yang mengacu pada ASTM E92^[3].

2.2 Deformasi

Deformasi elastis adalah perubahan bentuk yang terjadi bila ada gaya yang berkerja, serta akan hilang bila beban ditiadakan. Dengan kata lain bila beban ditiadakan, maka benda akan kembali kebentuk dan ukuran semula. Sedangkan defomasi plastis adalah perubahan bentuk yang permanen, meskipun bebannya di hilangkan. Secara diagramatis menunjukkan pengertian deformasi elastis dan deformasi plastis pada suatu diagram tegangan-regangan^[6]. Tingkat deformasi plastis dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut ini :

$$\square = \frac{t_0 - t_1}{t_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

□ =Tingkat Deformasi (%)

t₀ =Tebal Awal (mm)

t₁ =Tebal Akhir (mm)

2.3 Laju Korosi

Laju korosi merupakan tolak ukur untuk mengetahui perkembangan korosi dari suatu material. Adapun formula untuk menghitung nilai laju korosi mengacu pada ASTM G31 - 72 sebagai berikut:

$$CR = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (2)$$

Dimana :

CR =Corrosion Rate (mm/y)

K =Konstanta (8,76x10⁴)

T =Waktu kontak material dengan larutan (hours)

A =Luasan area (cm²)

W =Massa yang hilang (gram)

D =Density of metal (7,86 gram/cm³) (Appendix X1 ASTM G1)

2.4 Minimum Wallthickness

Perhitungan minimal ketebalan komponen perpipaan menggunakan standar ASME B31.3, persamaan yang digunakan adalah persamaan berikut ini:

$$T_m = \frac{P \cdot D}{2(SEW/I + PY)} \quad (3)$$

Dimana :

T_m = minimum required thickness (mm)

P = design pressure (Psi)

OD = outside diameter (mm)

S = stress value for material tabel A-1 ASME B31.3

E = quality factor from tabel A-1A atau A-1B ASME B31.3

W = weld join

Y = coefisien from tabel 304.1.1 ASME B31.3

I =Bend Centerline of radius 304.2.1 ASME B31.3

2.5 Lifetime

Lifetime referensi dari API 570 sebagai persamaan berikut ini:

$$Tr = (t_{acc} - t_m) / CR \quad (4)$$

Dimana :

Tr = remant lifetime (years)

T_{acc} = thickness actual (mm)

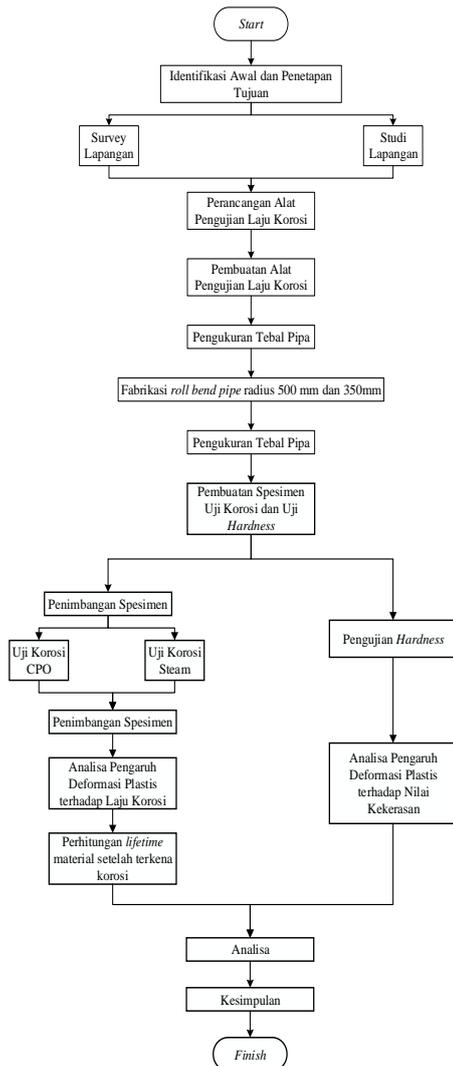
t_m = thickness minimum (mm)

CR = corrosion rate (mm/years)

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan hasil data pengujian terhadap logam carbon steel jenis A53 grade B. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 variasi suhu yaitu 80°C, 100°C dan 125°C dengan radius ~, 500 dan 350 mm. Waktu pengujian dilakukan 48 jam agar dapat terlihat perbedaan laju korosi dari setiap variasi suhu dan radius roll bend pipe.

Fluida yang digunakan pada pengujian laju korosi ini adalah steam dan crude palm oil. Pada pengujian ini pipa sebelum dan sesudah pengerjaan roll bend, ketebalan pipa diukur menggunakan thickness meter.

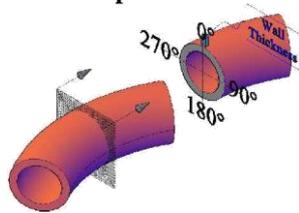
Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan ketebalan antara pipa radius ~, 500 dan 350 mm. Setelah itu dilakukan pengujian hardness untuk mengetahui nilai kekerasan pada pipa yang tidak mengalami deformasi plastis dan yang mengalami deformasi plastis pipa carbon steel A53 grade B. Setelah mengetahui perbedaan tebal pipa maka akan dilanjutkan dengan pemotongan spesimen pada pipa yang belum mengalami deformasi dan pada material yang telah mengalami deformasi plastis pada setiap radius roll bend pipe.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Tebal Pipa



Gambar 2. Letak Titik Pengujian Ketebalan Pipa

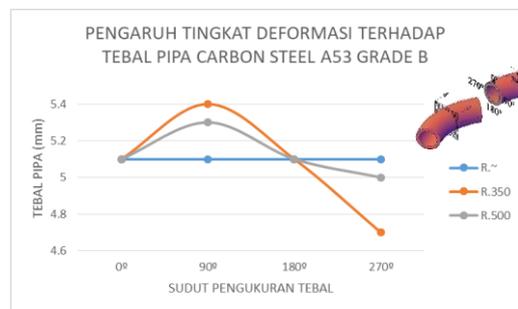
Ukuran tebal pipa akan berubah setelah dilakukan manufaktur *roll bend pipe*. Hal ini ditunjukkan oleh hasil pengujian tebal pipa *carbon steel A53* dengan radius *roll bend pipe* 500 mm, 350 mm, dan pipa tanpa mengalami deformasi. Pengukuran tebal pipa sebelum dan sesudah *roll bending* menggunakan alat *thickness meter*. Berikut spesifikasi letak pengukuran tebal pipa seperti pada gambar 2 dan perbandingan tebal pipa pada variasi radius *roll bend* serta pipa

yang tidak mengalami deformasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Pengujian Tebal Pipa

No	Radius	Sudut	Ketebalan
1	~ mm	0°	5,1 mm
		90°	5,1 mm
		180°	5,1 mm
		270°	5,1 mm
2	350 mm	0°	5,1 mm
		90°	5,4 mm
		180°	5,1 mm
		270°	4,7 mm
3	500 mm	0°	5,1 mm
		90°	5,3 mm
		180°	5,1 mm
		270°	5,0 mm

Berikut ini merupakan grafik pengaruh deformasi plastis terhadap nilai ketebalan.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Tingkat Deformasi Terhadap Nilai Ketebalan Pipa

Berikut ini merupakan hasil perhitungan tingkat deformasi radius *roll bend*.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Tingkat Deformasi

No	Radius	t0 (mm)	t1 (mm)	Δt (mm)	Tingkat
					Deformasi (%)
1	R.500	5.1	5.0	0.1	1.961
2	R.350	5.1	4.7	0.4	7.843
3	R.~	5.1	5.1	0.0	0.000

Hasil perhitungan tingkat deformasi di atas menunjukkan pada R.350 memiliki tingkat deformasi yang paling besar, sedangkan pada R.500 yang memiliki nilai tingkat deformasi yang paling kecil. Maka dari perhitungan tingkat deformasi dapat disimpulkan bahwa semakin kecil radius *roll bend* maka tingkat deformasi akan semakin besar.

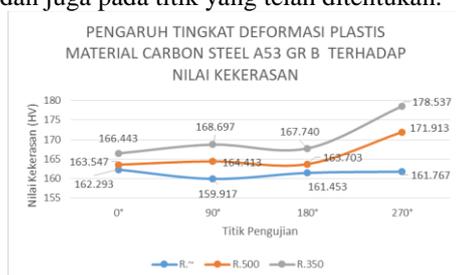
3.2 Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian spesimen uji *hardness* ini dilakukan dengan metode *vickers. Standard* yang digunakan yaitu ASTM E-92. Hasil pengujian *hardness* dapat di lihat pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Hardness Metode Vickers

No	Radius (mm)	Letak Titik Pengujian	Pembebanan (kgf)	Waktu Indentasi (s)	Hardness s 1 (HV)	Hardness s 2 (HV)	Hardness s 3 (HV)	Average Hardness (HV)
1	0°	5	15	162.29	163.45	161.14	162.29	
2	90°	5	15	158.55	160.8	160.4	159.92	
3	180°	5	15	164.07	161.21	159.08	161.45	
4	270°	5	15	162.35	161.61	161.34	161.77	
5	0°	5	15	162.7	163.04	164.9	163.55	
6	90°	5	15	165.32	163.58	164.34	164.41	
7	180°	5	15	164.27	162.29	164.55	163.70	
8	270°	5	15	172.23	170.61	172.9	171.91	
9	0°	5	15	166.58	167.43	165.32	166.44	
10	90°	5	15	168.79	163.58	173.72	168.70	
11	180°	5	15	167.15	167.64	168.43	167.74	
12	270°	5	15	177.86	178.72	179.03	178.54	

Dari tabel 3 Data Hasil Pengujian Hardness Metode Vickers, maka didapatkan grafik hasil pengaruh tingkat deformasi carbon steel A53 Gr B terhadap nilai kekerasan pada setiap radius roll bend dan juga pada titik yang telah ditentukan.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Tingkat Deformasi Terhadap Nilai Kekerasan

Grafik pada gambar 4 menunjukkan pengaruh tingkat deformasi akibat proses manufaktur *roll bend* terhadap nilai kekerasan. Dari uraian grafik di atas setiap radius *roll bend* mempunyai nilai kekerasan yang berbeda. Adanya peningkatan nilai *hardness* ini disebabkan karena deformasi plastis yang terjadi pada temperatur di bawah temperatur pengkristalannya.

Deformasi plastis material disebabkan karena adanya dislokasi pada struktur kristal material. Sehingga terjadi adanya *strain hardening* (pengerasan regangan). Peningkatan kekerasan ini tergantung pada seberapa besar tingkat deformasi atau regangan yang diterima oleh material. Dari hasil pengujian *hardness* ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar tingkat deformasi plastis suatu material maka akan semakin besar juga nilai kekerasan material tersebut. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi tingkat deformasi suatu material mengakibatkan peningkatan pengerasan regangnya.

3.3 Pengujian Laju Korosi

Untuk mengetahui pengaruh tingkat deformasi *carbon steel A53 Grade B* terhadap laju korosi maka dilakukan perhitungan laju korosi. Data diperoleh dari hasil pengujian *immersion corrosion test* sesuai standar ASTM 2004 G31-72 berupa kehilangan berat pada tabel

4 dan 5. Metode yang digunakan untuk mengetahui laju korosi adalah *weight loss*.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Laju Korosi CPO

No	Radius (mm)	Suhu (°C)	Weight Loss (g)	A (cm ²)	T (jam)	CR (mm/year)
1	~	80	0.0164	31.95836	48	0.11915
2		80	0.0152	31.38636	48	0.11245
3		80	0.0141	30.83536	48	0.10617
4		100	0.0175	30.27536	48	0.13421
5	~	100	0.0171	30.81736	48	0.12884
6		100	0.0179	30.83536	48	0.13479
7		106	0.0184	30.83536	48	0.13855
8		106	0.0189	31.39736	48	0.13977
9		106	0.0207	32.51936	48	0.14780
10		80	0.0176	29.55680	48	0.13796
11		80	0.0192	30.08680	48	0.14827
12		80	0.0162	27.92680	48	0.13479
13		100	0.0204	29.02680	48	0.16318
14	500	100	0.0220	30.08680	48	0.16978
15		100	0.0190	27.92680	48	0.15797
16		106	0.0223	29.02680	48	0.17838
17		106	0.0198	27.31680	48	0.16830
18		106	0.0203	27.92680	48	0.16878
19		80	0.0245	33.54012	48	0.16936
20		80	0.0220	31.31212	48	0.16325
21		80	0.0191	28.52712	48	0.15581
22		100	0.0253	31.31212	48	0.18761
23	350	100	0.0269	33.01012	48	0.18921
24		100	0.0270	33.01012	48	0.18991
25		106	0.0271	31.86912	48	0.19744
26		106	0.0267	31.87612	48	0.19449
27		106	0.0283	32.44312	48	0.20254

Tabel 5. Hasil Perhitungan Laju Korosi Steam

No	Radius (mm)	Suhu (°C)	Weight Loss (g)	A (cm ²)	T (jam)	CR (mm/year)
1	~	80	0.0006	31.95836	48	0.11915
2		80	0.0006	31.38636	48	0.11245
3		80	0.0007	30.83536	48	0.10617
4		100	0.0007	30.27536	48	0.13421
5	~	100	0.0007	30.81736	48	0.12884
6		100	0.0007	30.83536	48	0.13479
7		106	0.0008	30.83536	48	0.13855
8		106	0.0008	31.39736	48	0.13977
9		106	0.0008	32.51936	48	0.14780
10		80	0.0008	29.55680	48	0.13796
11		80	0.0007	30.08680	48	0.14827
12		80	0.0007	27.92680	48	0.13479
13		100	0.0008	29.02680	48	0.16318
14	500	100	0.0008	30.08680	48	0.16978
15		100	0.0008	27.92680	48	0.15797
16		106	0.0009	29.02680	48	0.17838
17		106	0.0008	27.31680	48	0.16830
18		106	0.0009	27.92680	48	0.16878
19		80	0.0008	33.54012	48	0.16936
20		80	0.0009	31.31212	48	0.16325
21		80	0.0009	28.52712	48	0.15581
22		100	0.0009	31.31212	48	0.18761
23	350	100	0.0011	33.01012	48	0.18921
24		100	0.0012	33.01012	48	0.18991
25		106	0.0009	31.86912	48	0.19744
26		106	0.0012	31.87612	48	0.19449
27		106	0.0011	32.44312	48	0.20254

Dari tabel diatas dapat diketahui nilai CR *average* pada setiap suhu. Dari nilai tersebut dapat dicari nilai CR pada suhu 125°C dengan cara *ekstrapolasi*. Hal ini dilakukan karena pada saat pengujian alat yang digunakan tidak dapat mencapai suhu 125°C. Sehingga untuk mengetahui nilai pengaruh tingkat deformasi pada suhu 125°C dapat dilakukan perhitungan dengan cara *ekstrapolasi*. Nilai yang dihasilkan dengan cara *ekstrapolasi* ini hanya sebagai nilai perkiraan bukan angka mutlak. Maka diperoleh nilai seperti pada tabel 6 dan 7 berikut ini.

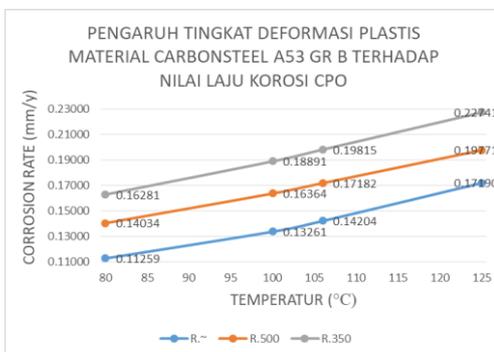
Tabel 6. Hasil Perhitungan Laju Korosi CPO suhu 125°C

No	Radius (mm)	Suhu (°C)	Cr (mm/y)
1	~	80	0.11259
2		100	0.13261
3		106	0.14204
4		125	0.17190
5	500	80	0.14034
6		100	0.16364
7		106	0.17182
8		125	0.19771
9	350	80	0.16281
10		100	0.18891
11		106	0.19815
12		125	0.22741

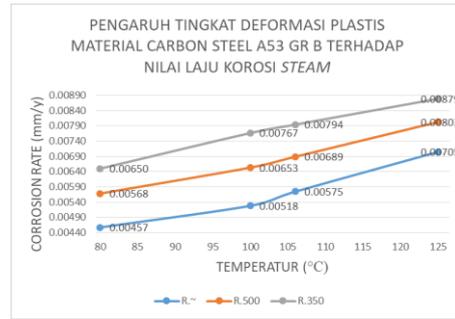
Tabel 7. Hasil Perhitungan Laju Korosi Steam suhu 125°C

No	Radius (mm)	Suhu (°C)	Cr (mm/y)
1	~	80	0.00457
2		100	0.00518
3		106	0.00575
4		125	0.00705
5	500	80	0.00568
6		100	0.00653
7		106	0.00689
8		125	0.00803
9	350	80	0.00650
10		100	0.00767
11		106	0.00794
12		125	0.00879

Dilihat dari hasil perhitungan laju korosi bahwa setiap radius *roll bend* mengalami perbedaan nilai laju korosi. Dari tabel di atas maka dapat diketahui pengaruh tingkat deformasi *Carbon Steel A53 Grade B* terhadap laju korosi yang dapat digambarkan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik Pengaruh Tingkat Deformasi Terhadap Nilai Laju Korosi Carbon Steel A53 Grade B menggunakan Fluida CPO



Gambar 5. Grafik Pengaruh Tingkat Deformasi Terhadap Nilai Laju Korosi Carbon Steel A53 Grade B menggunakan Fluida steam

Dari uraian perolehan data laju korosi, dapat mengetahui pengaruh peningkatan nilai laju korosi akibat pengaruh tingkat deformasi dengan variasi radius *roll bend* dan temperatur. Semakin besar deformasi berpengaruh terhadap tingginya nilai laju korosi. Hal ini terjadi karena pada pipa yang telah dilakukan *roll bending* akan mengalami deformasi plastis dimana strukturnya sudah tidak dapat kembali ke bentuk semula.

Apabila tingkat deformasi material ini semakin besar maka partikel pada material akan renggang dan mudah terkorosi. Dan juga semakin besar temperatur maka akan berpengaruh terhadap tingginya nilai laju korosi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu maka akan mempercepat reaksi korosi antara zat korosif dengan komposisi material tersebut. Pada grafik diatas terlihat bahwa laju korosi tertinggi pada setiap tingkat deformasi terletak pada suhu yang paling tinggi. Kedua radius *roll bend* yang di ujikan yaitu radius 350 mm, 500 mm, dan sebagai pembandingan material *Carbon Steel A53 Grade B* tanpa mengalami deformasi, pada semua spesimen yang mengalami deformasi menunjukkan peningkatan laju korosi

3.4 Hasil Perhitungan Minimum Thickness

Perhitungan *minimum thickness* ini digunakan untuk menghitung *lifetime* material pada setiap radius *roll bend* maupun yang tidak mengalami *roll bend*. Perhitungan *minimum thickness* ini mengacu pada ASME B.31.3. Table 8 berikut ini merupakan hasil perhitungan *minimum wall thickness*.

Tabel 8. Hasil Perhitungan minimum thickness

No	Radius (mm)	t_m	t_m
		intrados (mm)	ekstrados (mm)
1	~	1.0620	1.0620
2	500	1.0644	1.0599
3	350	1.0656	1.0591

3.5 Hasil Perhitungan Lifetime

Untuk menentukan *lifetime* material dibutuhkan nilai *minimum thickness* dan *corrosion rate* material. *Corrosion rate* didapat dari total *corrosion rate* yang terjadi pada media CPO dan *steam*. Nilai *corrosion rate* yang digunakan untuk menghitung *lifetime* tiap tingkat deformasi pipa yaitu *corrosion rate* pada suhu 125°C. Perhitungan *minimum thickness* digunakan sebagai data pendukung dalam menentukan *lifetime* pada pipa lurus dan pipa *roll bend*. Standart yang digunakan dalam perhitungan *lifetime* material menggunakan API 570. Dibawah ini diuraikan *lifetime* untuk pipa lurus, pipa radius 500 mm, dan pipa radius 350 mm.

Tabel 9. Hasil Perhitungan lifetime maerial

No	Radius (mm)	Diameter (Inch)	Lifetime (years)
1	~	2.5	23
2	500	2.5	20
3	350	2.5	16

4. KESIMPULAN

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

- Berikut merupakan hasil pengujian ketebalan pipa dan nilai kekerasan pada material carbon steel A53 gr B. Pengurangan ketebalan dan kenaikan nilai kekerasan terbesar terjadi pada titik pengujian 270°. Hasil pengujian ketebalan pipa dan nilai kekerasan pipa lurus (5.1 mm dan ± 161,358 HV), pada pipa radius 500 (5.0 mm dan 171.913 HV), dan pada pipa radius 350 (4.7 mm dan 178,537 HV). Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar tingkat deformasi plastis material maka pengurangan ketebalan dan nilai kekerasan akan semakin besar.
- Hasil perhitungan total laju korosi fluida crude palm oil dan steam pada pipa carbon steel A53 grade B (R.~) (0.17895 mm/y), pipa radius 500 mm (0.20574 mm/y), dan pipa radius 350 mm (0.2362 mm/y). Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar tingkat deformasi maka laju korosi akan semakin besar. Dan semakin tinggi suhu, maka laju korosi akan semakin besar pula.
- Hasil perhitungan lifetime pipa material carbon steel A53 gr B (R.~) adalah 23 tahun, untuk pipa dengan radius 500 mm adalah 20 tahun, dan pada pipa radius 350 mm adalah 16 tahun.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai

pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

- Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan materi, motivasi, kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis.
- Bapak Budi Prasajo, selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal penelitian.
- Ibu Endah Wismawati, selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal penelitian
- Senior teknik perpipaan yang mau berbagi pengalaman dan dukungan dalam pengerjaan jurnal penelitian.
- Teman-teman seperjuangan teknik perpipaan angkatan tahun 2014 yang telah memberikan motivasi, warna kehidupan, dan kebersamaan.

1. PUSTAKA

- American Petroleum Institute 570. (2016). Piping Inspection Code: In-Service Inspection, Rating, Repair, And Alternation of Piping System.
- American Society of Testing and Material G31-72. (2004). Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals.
- E92, A. S. (1997). Standart Test Method for Vickers Hardness of Metalic Materials.
- Apriyansyah, R. A. (2017). Analisa Ketahanan Korosi Pipa A53 Pada Lingkungan Oil Sludge dengan Metode C-Ring.
- M.K, S. N., & Misbah, M. N. (2012). Analisis Pengaruh Salinitas dan Suhu Air Laut Terhadap Laju Korosi Baja A36 pada Pengelasan SMAW.
- Muhammad, F.A. (2016). Pengaruh Tingkat Deformasi Plastis Material Stainless Stell 304 L Terhadap Struktur Mikro dan Laju Korosi Sulfur.
- Permadi, L. B., & Palupi, A. E. (2014). Analisa Laju Korosi Pada Baja Karbon Ringan (Mild Steel) dengan Perlakuan Bending pada Media Pengkorosi Larutan Asam.
- Prasetyo, M. C. (2016). Pengaruh Sudut Legkung dan Temperature Pemanasan pada Bending pipa A106 dengan Diameter 2,5 Inch sch 80 Terhadap Nilai Kekerasan dan Laju Korosi.