

**PERILAKU KOROSI PANAS BAJA AISI 4130
PADA TEMPERATUR 750⁰ C DALAM LINGKUNGAN ATMOSFER
YANG MENGANDUNG KLOR DAN SULFUR**

Muhammad Ihsan Yusuf

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jln. Prof.Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedung H FT Lt. 2 Bandar Lampung
Telp. (0721) 3555519, Fax. (0721) 704947
email : *ihsanyusuuf@gmail.com*

Abstract

Steel is the main material of an industry. In a world of steel metallurgy has a character different from the microstructure to mechanical properties. It is therefore very important to know well the character of a steel that can be used as needed. If it is not appropriate in selecting a material, there will be a failure. In this study the oxidation testing AISI 4130 steel at a temperature of 750⁰C in NaCl/Na₂SO₄ environment. Tests performed to see the length of time gain against corrosion, and oxidation product analyzes performed by the method of X-RD, SEM/EDS and OM. These results indicate that the oxide formed shows : Fe₂O₃, Fe₃O₄, FeO, and Cr₂O₃, the steel surface is almost the same for all the specimens were oxidized in a different environment. The existence of deposits of NaCl and Na₂SO₄ deposits on the surface of AISI 4130 steel can accelerate the oxidation process at high temperature. The existence of chlorine gas and sulfur gas in the atmosphere causing the surface layers of AISI 4130 steel is oxidized more rapidly than those occurring in ordinary air environment. Damage to the surface layer of AISI 4130 steel is exacerbated by the growth of iron rich oxide (Fe₂O₃) on the protective layer. Formation is accelerated by reaction Fe₂O₃ and FeO Cr₂O₃ formation on AISI 4130 steel with a deposit of NaCl and Na₂SO₄ deposits.

Keywords: *Steel AISI 4130, NaCl deposit, Na₂SO₄ deposits, Fe₂O₃*

PENDAHULUAN

Baja merupakan suatu material utama dari sebuah industri. Dalam dunia metalurgi baja memiliki suatu karakter yang berbeda-beda mulai dari struktur mikro sampai dengan sifat mekaniknya. Oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui dengan baik karakter suatu baja agar dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan. Gas klor dan sulfur yang mengendap dalam bentuk deposit NaCl maupun Na₂SO₄ pada permukaan baja dan paduannya, dapat menimbulkan kerusakan yang parah [1–3]. Penggunaan baja karbon AISI 4130 umumnya banyak digunakan pada bidang konstruksi seperti : pipa, boiler, pembangkit listrik, ketel uap, dan sebagainya. Endapan garam klorida dan sulfur mempercepat proses oksidasi/korosi baja dan paduannya selama terekspos pada temperatur tinggi [4–6]. Dalam penggunaannya baja paduan

ini akan mengalami degradasi atau kerusakan akibat korosi, terutama pada temperature tinggi.

Korosi dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan yang bersifat asam, basa, oksigen, dan air. Selain itu garam-garam anorganik seperti klorid (Cl), sulfat (SO₄²⁻), dan karbonat dari Na, Mg, dan Ca juga dapat menyebabkan korosi. L.Shi dalam penelitiannya menyebutkan bahwa deposit Na₂SO₄ dapat mempercepat proses oksidasi *iron* pada temperatur 750 °C. Percepatan korosi ini disebabkan oleh endapan sulfida yang terbentuk pada fasa cair, yakni lelehan eutektit Na₂SO₄ dan Na₂O, dimana Na₂O merupakan hasil reaksi antara *iron* dengan deposit sulfat. Pada penelitian lain yang pernah dilakukan, yakni penelitian korosi pada temperatur tinggi baja karbon A210-C dalam lingkungan pembakaran batubara (*coal combustion*) oleh X. Peng et al. Menyebutkan bahwa laju

oksidasi meningkat signifikan dengan meningkatnya temperatur [7-10].

PROSEDUR PENELITIAN

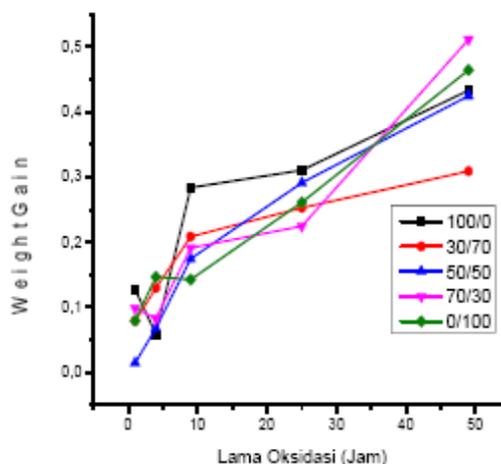
Pelat baja AISI 4130 dengan komposisi kimia (wt.%): 0.2C–0.5Mn–0.05P–0.05S dan Fe-seimbang, dipotong dengan ukuran 20 mm × 10 mm × 2 mm untuk dibuat spesimen.

Larutan NaCl dan Na₂SO₄ disemprotkan pada permukaan spesimen yang diletakan di atas hot-plate pada 200 °C sampai terbentuk deposit pada kedua permukaan spesimen seberat 2 mg/cm². Pengujian oksidasi dilakukan pada 750 °C selama periode 1–49 jam dalam kondisi udara statis. Data penambahan berat (mg/cm²) terhadap lama oksidasi (jam) diplot secara linier dan parabolik. Morfologi, mikrostruktur dan komposisi kimia semua sampel dianalisis menggunakan scanning electron microscopy (SEM) dan electron dispersive spectroscopy (EDS) dan Optical microscope (OM). Fasa-fasa yang terbentuk dianalisis dengan X-ray diffraction (XRD).

HASIL DAN PEMBAHASAN

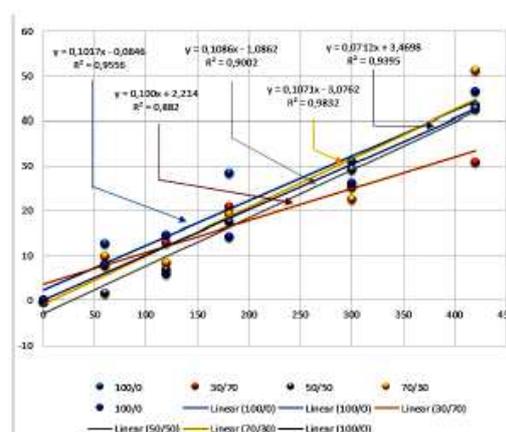
1. Kinetika oksidasi

Berdasarkan gambar 1(a), untuk baja AISI 4130 dengan deposit NaCl/Na₂SO₄ 50/50, kurva penambahan berat mengikuti tren parabolic namun pada waktu oksidasi 1 jam, 4 jam, dan 9 jam laju oksidasi meningkat dengan cepat, hal yang sama juga dapat diamati pada kurva dengan komposisi deposit NaCl/Na₂SO₄ 30/70, kurva penambahan berat yang mengikuti tren parabolik. Namun pada waktu oksidasi 1 jam sampai dengan 9 jam menunjukkan laju oksidasi sangat cepat. Tidak demikian halnya pada kurva dengan komposisi deposit NaCl/Na₂SO₄ 0/100, 70/30 dan 100/0, kurva tidak mengikuti tren parabolik. Dan secara detail dapat dilihat pada gambar 1(a).



Gambar 1(a) Plot kurva penambahan berat terhadap lama oksidasi pada baja AISI 4130 di lingkungan NaCl / Na₂SO₄.

Plot data kinetik ($\Delta W/A_0$) = $k_p t^n$ (Gb.1b). Dari regresi linier, konstanta laju kinetika (k_p) untuk baja AISI 4130 yang tidak dilapisi Al dengan deposit NaCl dan Na₂SO₄ adalah masing-masing $2,71 \times 10^{-9} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$ (100/0), $1,0 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$ (30/70), $5,07 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$ (50/50), $1,15 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$ (70/30), $1,18 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$ (NaCl/Na₂SO₄ 0/100). dan $1,03 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$ (udara).



Gambar 1. (b) Plot linier weight gain terhadap akar kuadrat waktu oksidasi pada baja AISI 4130 Lapis Al di lingkungan NaCl / Na₂SO₄.

Laju kinetika baja AISI 4130 pada temperatur 750 °C dalam lingkungan

NaCl/Na₂SO₄ dengan periode waktu 1-49 jam dapat dilihat dalam tabel 4. Laju konstanta parabolik terendah terdapat pada perbandingan komposisi deposit NaCl/Na₂SO₄ 30/70 yaitu sebesar $5,07 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$ sedangkan laju konstanta parabolik komposisi deposit NaCl/Na₂SO₄ 100/0, 50/50, 70/30, 0/100 terdapat peningkatan laju konstanta parabolik satu orde lebih tinggi.

Tabel 1. Laju kinetika korosi / oksidasi baja AISI 4130

No.	Konsentrasi NaCl/Na ₂ SO ₄	Konstanta parabolik (K _p) baja AISI 4130 ($\text{g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$)
1.	100/0	$1,0 \times 10^{-8}$
2.	30/70	$5,07 \times 10^{-8}$
3.	50/50	$1,15 \times 10^{-8}$
4.	70/30	$1,18 \times 10^{-8}$
5.	0/100	$1,03 \times 10^{-8}$

Berdasarkan Tabel 1. Membuktikan bahwa besaran nilai konstanta parabolik dapat oksidasi pada baja AISI 4130 pada lingkungan klor dan sulfur, Selanjutnya untuk mengetahui peningkatan ketahanan oksidasi baja AISI 4130 dapat dipelajari melalui laju kinetika oksidasi (k_p) dalam plot parabolik kurva *weight gain* dengan akar kuadrat waktu oksidasi ($t^{1/2}$).

A. Karakterisasi Sampel Setelah Pengujian Oksidasi

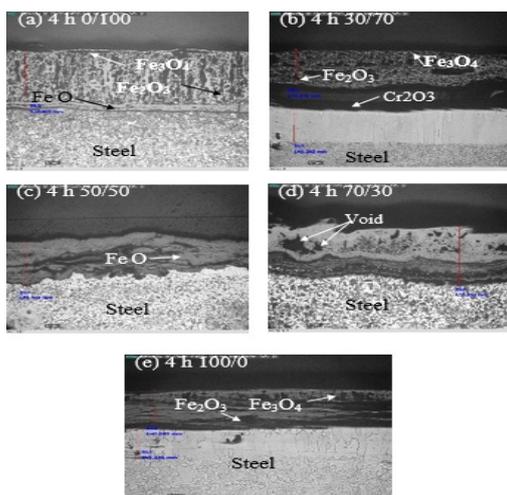
Permukaan spesimen baja AISI 4130 telah teroksidasi dalam lingkungan klor dan sulfur dapat diamati pada permukaan baja yang telah teroksidasi dapat dilihat pada Oksidasi Warna coklat tua pada permukaan lapisan oksida besi terluar mengindikasikan lapisan Fe₂O₃ terbentuk bersamaan dengan pembentukan besi klorida (warna abu-abu). Sedangkan warna putih terang menunjukkan NaCl/Na₂SO₄ yang masih tersisa pada permukaan terluar baja. Oleh karena itu, baja mengalami korosi dalam lingkungan NaCl yang masih padat ataupun cair. Untuk korosi logam dalam garam cair, reaksi antara NaCl/Na₂SO₄ menyebabkan degradasi oksida logam pada permukaan. Dengan demikian, pada tahap awal oksidasi lapisan oksida film

yang terbentuk dapat terdegradasi oleh NaCl/Na₂SO₄ cair. Dan Pada gambar 2. terlihat jelas pada permukaan spesimen baja AISI 4130 dengan komposisi deposit NaCl/Na₂SO₄ yang berbeda setelah dioksidasi pada temperatur 750 °C selama periode waktu 1-49 jam. Permukaan spesimen dengan deposit NaCl/Na₂SO₄ 100/0 (gr) setelah 1 jam oksidasi berwarna abu abu. Namun waktu oksidasi selama 25 jam dan 49 jam, lapisan oksidasi pada permukaan baja semakin lama semakin berwarna coklat tua atau karat akibat lamanya pemanasan di temperatur 750 °C . warna coklat tua pada permukaan lapisan oksida terluar mengindikasikan oksida besi (Fe₂O₃). Hal yang sama juga dapat diamati pada spesimen dengan deposit (gr): 30/70, 50/50, 70/30 dan 100/0. Sebaliknya pada spesimen dengan deposit hanya Na₂SO₄, selama oksidasi 1 jam pada permukaan baja AISI 4130 lebih didominasi oleh warna abu-abu. Selanjutnya produk oksidasi baja AISI 4130 diobservasi untuk mengetahui perubahan fasa melalui lapisan oksidasi yang terbentuk setelah oksidasi dengan mikroskop optik dan XRD. SEM dilakukan hanya pada permukaan oksida yang terbentuk.

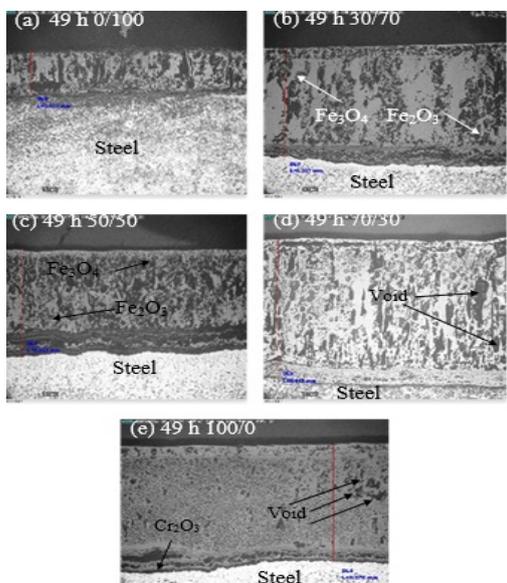
1. OM (Mikroskop Optik)

Setelah dilakukan penelitian dan observasi, memperlihatkan kandungan yang terdapat pada baja AISI 4130 pada temperatur 750°C dalam lingkungan atmosfer yang mengandung NaCl/Na₂SO₄ dengan waktu oksidasi selama 4 jam dan 49 jam. Secara keseluruhan hasil observasi Mikroskop Optik pada penampang permukaan baja AISI 4130. Untuk 4 jam dioksidasi seperti ditunjukkan pada gambar 2. Dan untuk 49 jam oksidasi ditunjukkan pada gambar 3. Pada gambar 2 (a) komposisi deposit NaCl/Na₂SO₄ 0/100 lapisan yang terdiri dari FeO dan diikuti Fe₂O₃, Fe₃O₄ gambar 2 (b). Hal yang berbeda terjadi pada komposisi deposit NaCl/Na₂SO₄ 30/70 keberadaan Cr₂O₃ dan Fe₂O₃, Fe₃O₄ semakin mendominasi terlihat dari menambahnya penambahan berat, Pada gambar 2 (c) lapisan yang terdiri dari dan Fe₂O₃, Fe₃O₄ dan FeO semakin banyak terlihat dari penurunan dari penambahan berat, pada gambar 2 (d) pada komposisi deposit NaCl/Na₂SO₄ 70/30 keberadaan Fe₂O₃ mendominasi FeO

bertambah, dan pada gambar 2 (e) lapisan Fe_2O_3 , Fe_3O_4 mendominasi kembali. Maka untuk memahami perilaku oksidasi, pengujian oksidasi dilakukan pada $750\text{ }^\circ\text{C}$ selama periode waktu 4 jam dan 49 jam Untuk 4 jam oksidasi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Pengujian OM pada permukaan Baja AISI 4130 yang dioksidasi di lingkungan yang berdeposit $NaCl/Na_2SO_4$ (a) 0/100, (b) 30/70, (c) 50/50, (d) 70/30, (e) 100/0 pada temperatur $750\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam

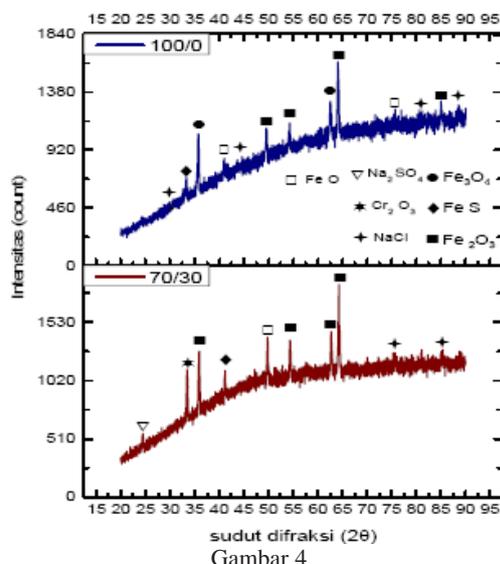


Gambar 3. Hasil Pengujian OM pada permukaan Baja AISI 4130 yang dioksidasi di lingkungan yang berdeposit $NaCl/Na_2SO_4$ (a) 0/100, (b) 30/70, (c) 50/50, (d) 70/30, (e) 100/0 pada temperatur $750\text{ }^\circ\text{C}$ selama 49 jam

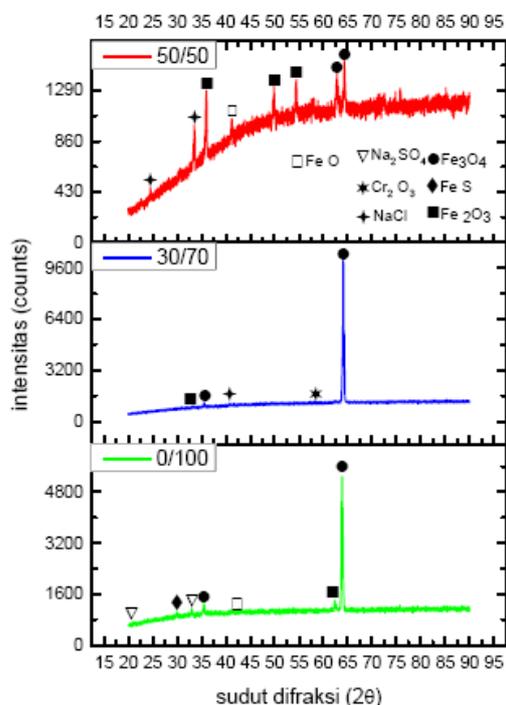
Dari pengamatan melalui mikroskop optik, pada gambar 3 pada permukaan baja AISI 4130 temperatur $750\text{ }^\circ\text{C}$ selama 49 jam dalam lingkungan $NaCl/Na_2SO_4$. Pada gambar 3 (a) komposisi deposit $NaCl/Na_2SO_4$ 0/100 lapisan yang terdiri dari FeO dan diikuti Fe_2O_3 , Fe_3O_4 . Struktur oksida Fe_2O_3 semakin mendominasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 (b). Dan gambar 4 (c) pada gambar 3 (c). Dan pada gambar 3 (e) lapisan Fe_2O_3 , Fe_3O_4 mendominasi kembali. Pada kenyataannya serangan oksidasi klor dan sulfur menyerang bagian dalam permukaan yang lebih dekat ke lapisan oksidasi sehingga mengikis lapisan Fe_2O_3 dan lapisan Cr_2O_3 yang telah terbentuk.

2. X-Ray difraksi (XRD)

Baja AISI 4130 dioksidasi pada temperatur $750\text{ }^\circ\text{C}$ menunjukkan bahwa selama awal oksidasi, lapisan oksida yang tumbuh pada permukaan substrat adalah Cr_2O_3 . Pemeriksaan fasa oksida yang terbentuk pada permukaan baja AISI 4130 telah dioksidasi dengan XRD menunjukkan oksida yang terbentuk: Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO, dan Cr_2O_3 . Pola X-ray difraksi dilakukan untuk mendapatkan data sudut θ difraksi dan intensitas α pada permukaan spesimen setelah pengujian oksidasi baja AISI 4130 pada temperatur $750\text{ }^\circ\text{C}$ di lingkungan $NaCl/Na_2SO_4$ dalam periode waktu 25 jam di tampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4



Gambar 4. Pola difraksi hasil XRD baja AISI 4130 pada temperatur 750 °C dilingkungan NaCl/Na₂SO₄ dengan waktu oksidasi selama 25 jam

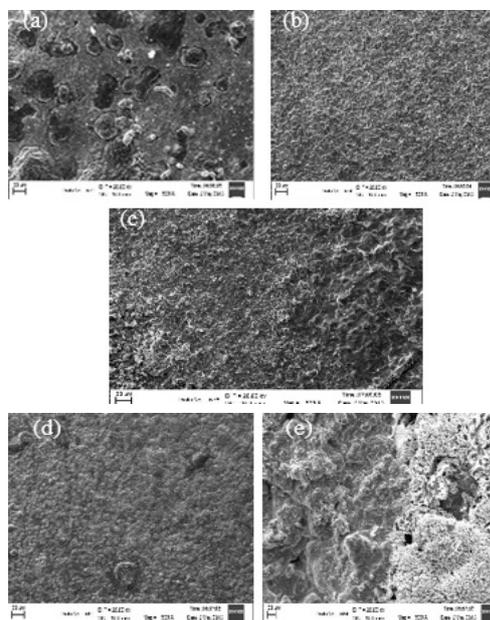
Berdasarkan pada gambar 4. Pola difraksi X-ray menunjukkan terdapat lapisan oksidasi yang terbentuk, hal ini dilihat dari intensitas tertinggi pada periode NaCl/Na₂SO₄ yang berdeposit 100/0 adalah Fe₂O₃. Hal yang sama juga terjadi untuk hasil pola difraksi X-ray untuk periode waktu NaCl/Na₂SO₄ yang berdeposit 70/30 yang didominasi NaCl, dan menunjukkan elemen yang memiliki intensitas tertinggi adalah Fe₂O₃, hal ini dapat diperjelas melalui pola X-ray 30/70. Namun berbeda halnya pada perbandingan deposit yang didominasi Na₂SO₄ menunjukkan intensitas kurva tertinggi yaitu kandungan Fe₃O₄.

Seiring dengan perbandingan deposit NaCl/Na₂SO₄ 70/30 dan 100/0, X-ray mengkonfirmasi keberadaan lapisan Fe₃O₄ dengan intensitas yang tinggi dan lapisan FeO walaupun intensitas tidak terlalu tinggi. FeO yang merupakan proses difusi oksigen selama berlangsungnya oksidasi pada spesimen, yang juga berpengaruh dalam proses terbentuknya kerak dari Fe₂O₃ bereaksi dengan

NaCl/Na₂SO₄ dan merusak permukaan oksidasi maka dapat dipastikan oksida besi akan terbentuk. Selain Fe₂O₃ juga terbentuk FeS dengan intensitas yang rendah. Ini menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara baja dan lapisan oksidasi yang disebabkan penetrasi dari NaCl/Na₂SO₄, walaupun hasil reaksi tersebut terbentuk dalam intensitas yang rendah. Ini menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara baja dan lapisan oksida yang disebabkan penetrasi dari NaCl/Na₂SO₄, walaupun hasil reaksi tersebut terbentuk dalam intensitas yang rendah.

3. SEM (surface morphology)

Setelah melakukan observasi permukaan baja AISI 4130 yang dioksidasi pada temperatur 750 °C menghasilkan morfologi permukaan oksida yang berbeda - beda tergantung pada variasi lama waktu oksidasi dan variasi konsentrasi lingkungan NaCl/Na₂SO₄. Hasil pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik yaitu morfologi permukaan yang terbentuk pada baja dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. SEM morfologi permukaan baja AISI 4130 setelah dioksidasi dengan periode waktu oksidasi selama 9 jam pada temperatur 750 °C di lingkungan NaCl/Na₂SO₄ dengan konsentrasi (a) 100/0, (b) 30/70, (c) 50/50

Setelah dilakukan SEM pada permukaan baja yang dengan periode waktu oksidasi 9 jam, maka dapat dilihat pada gambar 5 (a) adanya *scale* dari Fe_2O_3 yang merupakan hasil dari proses difusi oksigen pada permukaan spesimen yang cacat maupun rusak. Selain terbentuknya *scale* Fe_2O_3 juga terdapat whisker yang tumbuh di permukaan spesimen yang dioksidasi pada gambar 5 (e). Selanjutnya pada gambar 5 (a). Lapisan tipis Fe_2O_3 berperan untuk mengontrol laju difusi oksigen ke dalam lapisan FeO . Akan tetapi jika cacat terbentuk pada permukaan seperti retak ataupun lubang dapat menyebabkan oksigen masuk kedalam lapisan oksida dan terjadi reaksi antar elemen yang ada, baik elemen korosif di lingkungan itu sendiri maupun elemen-elemen lain yang ada di permukaan spesimen sehingga memicu terbentuknya whisker atau *scale* dari Fe_2O_3 seperti terlihat pada gambar 5 (a), dimana lapisan oksida menipis akibat proses oksidasi. Fasa Fe_2O_3 yang terbentuk dikarenakan adanya penetrasi oksigen pada permukaan substrat, terlihat semakin tebal dan solid.

Hal ini membuktikan bahwa fasa Fe_2O_3 yang berperan sebagai lapisan protektif yang menghambat laju oksidasi pada temperatur tinggi oksidasi selama 25 jam. Seiring dengan sedikitnya lapisan protektif dari Fe_2O_3 yang mengontrol laju difusi oksigen di permukaan spesimen. Oksigen yang masuk melalui celah cacat retak atau lubang bereaksi dengan besi secara perlahan diawali terbentuknya whisker tipis Fe_3O_4 yang kemudian terus tumbuh seiring terdapatnya cacat pada permukaan yang kemudian menyebabkan oksigen dapat melewati lapisan oksida dan berdifusi, sehingga tercipta *scale* Fe_2O_3 . Ini juga berhubungan dengan terjadinya penambahan berat pada spesimen baja yang diuji yang disebabkan pertumbuhan *scale* dari Fe_2O_3 .

Dari penjelasan yang didapat, data menunjukkan dan membuktikan perilaku korosi yang ada, baik di lingkungan yang lebih banyak mengandung NaCl ataupun lingkungan yang lebih banyak mengandung Na_2SO_4 .

KESIMPULAN

Hasil pembahasan dari serangkaian pengujian dan observasi yang telah dilakukan dalam penelitian ini, Beberapa hal yang dapat

disimpulkan, sebagai berikut :

1. Keberadaan deposit $\text{NaCl}/\text{Na}_2\text{SO}_4$ pada baja AISI 4130 sangat besar mempengaruhi kinetika oksidasi baja, hal ini dapat dilihat dari nilai konstanta parabolik baja AISI 4130 dengan perbandingan deposit $\text{NaCl}/\text{Na}_2\text{SO}_4$ (gr): 30/70 adalah $5,07 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$. Sedangkan nilai konstanta parabolik dengan perbandingan deposit (gr): 100/0 adalah $1,0 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$, 50/50 adalah $1,15 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$, 70/30 adalah $1,18 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$ dan 0/100 adalah sebesar $1,03 \times 10^{-8} \text{ g}^2\text{cm}^{-4}\text{s}^{-1}$.
2. Hasil mikroskop optik pada penampang permukaan baja 4130 dengan komposisi deposit $\text{NaCl}/\text{Na}_2\text{SO}_4$ (gr): 30/70 yang dioksidasi pada 750°C dengan periode waktu oksidasi 4 jam dan 49 jam mengalami pengerusakan lapisan permukaan baja AISI 4130 disebabkan oleh keberadaan klor dan sulfur dari deposit $\text{NaCl}/\text{Na}_2\text{SO}_4$ yang memicu pertumbuhan oksida kaya besi (FeO_3).
3. Hasil analisis X-ray (XRD) pada permukaan baja AISI 4130 yang dioksidasi selama 25 jam dengan deposit $\text{NaCl}/\text{Na}_2\text{SO}_4$ 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 dan 100/0, dominasi Fe_2O_3 , Fe_3O_4 dan FeS , FeO , Cr_2O_3 sebagai pelengkap di setiap deposit baja AISI 4130 yang melindungi lapisan di bagian luar dan dalam dari oksidasi baja 4130

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Qiao L., Huang Y.L., Stress corrosion cracking of AISI 321 stainless steel in acidic chloride solution, *Mater. Sci.* 25 (1998) pp. 47–51.
- [2] Zehbour P., Almeida N.L., Sousa R.M.F., Pimenta G. S. and Marques L.B.S., Corrosion of carbon steel pipes and tanks by concentrated sulfuric acid: A Review, *Corros. Sci.* 58 (2012) pp. 1–11.
- [3] Shi L., Accelerated oxidation of iron induced by Na_2SO_4 deposits in oxygen at 750°C , new type low- temperature hot corrosion, *Oxid. Met.* 40(1/2) (1993) pp. 197–211.
- [4] Wang C.J., Lee J.W. and Twu T.H.,

- Corrosion behaviors of low carbon steel, SUS310 and Fe-Mn-Al alloy with hot-dipped aluminum coatings in NaCl-induced hot corrosion, *Surf. Coat. Technol.* 163-164 (2003) pp. 37–43.
- [5] Tsaor C.C., Rock J.C., Wang C.J. and Su Y.H., The hot corrosion of 310 stainless steel with pre-coated NaCl/Na₂SO₄ mixtures at 750 °C, *Materis. Chemis. Phys.* 89 (2005) pp. 445–453.
- [6] Ravindra K., Tewari V.K. and Prakash S., Studies on hot corrosion of the 2.25 Cr–1Mo boiler tube steel and its weldments in the molten salt Na₂SO₄–60 pct V₂O₅ environment, *Metall. Mater. Trans. A*, 28 (2007) pp. 24–27.
- [7] Sack, Raymond J. 1997. *Welding: Principles and Practices*. Mc Graw Hill. USA.
- [8] Singh R, Swaminathan, Das S. K, Ravi Kumar B and Chatteraj I, 2005, Effects of cold deformation prior to sensitization on intergranular stress corrosion cracking of stainless steel, *NACE International Corrosion Vol.61, No.9*, pp.907-916.
- [9] Sivaprasad, S, Tarafder, S, Ranganath, V.R, Das, S.K dan Ray, K.K, “ Effect of Prestrain on Stretch-Zone Formation during Ductile Fracture of Cu-Strengthened High-Strength Low-Alloy Steel ”, *Jurnal Metallurgical dan Material Transactions*, hal. 3731-3739, Vol.33A.
- [10] Wiryosumarto, H dan Okumura, T. 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan 9. Penerbit Pradnya Paramita. Jakarta
- Zehbour P., Almeida N.L., Sousa R.M.F., Pimenta G. S. and Marques L.B.S., Corrosion of carbon steel pipes and tanks by concentrated sulfuric acid: A Review, *Corros. Sci.* 58 (2012) pp. 1–11.