

PENGARUH WAKTU SPUTTERING TERHADAP PENINGKATAN KETAHANAN KOROSI SUHU TINGGI BAHAN CORTEN

Wagiyo H.¹, Syahril² dan Suparyadi³

¹Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

²Pusat Kemitraan Teknologi Nuklir (PKTN) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

³Jurusan Fisika, FMIPA -UAD
Jl. Semaki No. 9, Yogyakarta

ABSTRAK

PENGARUH WAKTU SPUTTERING TERHADAP PENINGKATAN KETAHANAN KOROSI SUHU TINGGI BAHAN CORTEN. Telah dilakukan deposisi lapisan tipis Al pada bahan Corten. Sampel yang telah dideposisi Al kemudian di uji korosi suhu tinggi (oksidasi). Deposisi lapisan tipis Al menggunakan teknik *sputtering* selama 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit dan 180 menit. Kemudian masing-masing sampel yang telah dideposisi Al, dioksidasi menggunakan alat *Thermal Gravimetry Analysis/ Magnetic Suspension Balance (TGA/MSB)* selama 50 jam pada suhu 400 °C. Sampel yang telah dioksidasi dikarakterisasi struktur kristalnya menggunakan alat *X-Ray Diffractometer (XRD)* dan strukturmikro menggunakan alat *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Hasil uji korosi suhu tinggi menunjukkan bahwa sampel yang laju oksidasinya paling kecil atau ketahanan korosinya tinggi adalah sampel yang dideposisi Al selama 3 jam dengan lapisan lindung berupa Al₂O₃.

Kata kunci : *Sputtering*, Korosi suhu tinggi, *TGA/MSB*, *XRD*, *SEM-EDS*

ABSTRACT

TIME SPUTTERING INFLUENCE TO INCREASE HARDNESS AND HIGH TEMPERATURE CORROSION RESISTANT OF CORTEN SUBSTANCE. Samples of Corten steels have been subjected to surface treatment, with Al coating followed by high-temperature oxidation. The Al deposition process used the sputtering technique of 30, 60, 90, 120, 150 and 180 minutes. High-temperature corrosion tests were then carried out using a Thermo Gravimetry Analysis called Magnetic Suspension Balance (TGA/MSB), which performed for 50 hours at 400 °C. Oxidized sample are then characterized using X-Ray Diffractometer (XRD) to determine its crystal structure, and using Scanning Electron Microscope (SEM) for observing its microstructure. It appears that samples sputtered for 3 hours, show the lowest rate of corrosion or highest corrosion resistance. Where as for Cor-Ten steel the corrosion barrier was a Al₂O₃ protective layer.

Key words : *Sputtering*, high temperature corrosion, *TGA/MSB*, *XRD*, *SEM-EDS*

PENDAHULUAN

Korosi dapat diartikan sebagai perusakan logam karena keadaan sekitar yang bersifat korosif. Korosi pada logam bersifat merugikan, karena dapat mengurangi mutu logam [1]. Akan tetapi kerugian akibat korosi dapat ditekan sekecil mungkin apabila ahli desain teknik mengerti tentang penyebab terjadinya korosi dan cara penanggulangannya. Oleh sebab itu korosi merupakan hal yang menarik untuk diteliti, karena dampak yang ditimbulkan dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar.

Sebagai contoh sejak tahun tahun 1985, Amerika setiap tahunnya mengalami kerugian sekitar 3 persen dari *GPD (gross domestic product)* atau sekitar 287 milyar

dolar yang diakibatkan oleh korosi. Korosi juga sangat memboroskan sumber daya alam. Jerman telah menghitung kerugian akibat korosi sekitar 4 persen dari *GPD*-nya atau sekitar 64 milyar euro [2].

Bahan *corten steel* merupakan bahan yang banyak dipakai untuk bahan struktur. Penggunaan bahan *corten steel* antara lain: cerobong asap, tower transmisi listrik suhu tinggi, jembatan, rel kereta api dan peti kemas. Bahan *corten* juga banyak dipakai pada komponen pengambil panas pada pembangkit daya (PLTN, PLTU dan PLTG), cerobong asap, penyimpan limbah radio aktif [3]. Meskipun dirancang sebagai bahan tahan korosi atmosferik, dalam pemakaianya bahan ini tetap

mengalami korosi sehingga diperlukan usaha pencegahan dengan cara membuat lapisan tipis terutama pada permukaan. Lapisan tipis yang terbentuk pada permukaan *corten steel* harus tahan terhadap korosi. Aluminium merupakan logam yang luas penggunaannya setelah baja. Aluminium mempunyai beberapa sifat-sifat yang istimewa yaitu keras, kuat, dan mudah dibentuk. Meskipun sangat elektronegatif (kecenderungan atom untuk menarik elektron dari atom luar), aluminium tahan terhadap korosi karena lapisan oksida yang kuat dan mudah terbentuk pada permukaan. Oleh karena daya tahannya terhadap korosi, maka aluminium sering dilapiskan pada besi, baja atau logam lainnya untuk membentuk lapisan oksida[4].

Dalam penelitian ini dipilih metode *sputtering*, karena metode ini memiliki keunggulan dibandingkan metode deposisi lainnya. Beberapa keunggulan diantaranya bahan yang diperoleh dari proses deposisi memiliki karakteristik yang serupa dengan bahan target, dapat diperoleh lapisan yang memiliki titik leleh tinggi dengan mudah dan umumnya lapisan yang terdeposisi terikat kuat pada substrat. Selain *sputtering* masih banyak cara untuk meningkatkan ketahanan korosi pada suhu tinggi, diantaranya pencelupan pada logam cair (*hot dip aluminizing*), nitridisasi, pelapisan dengan teknik PVD (*Physical Vapor Deposition*), CVD (*Chemical Vapor Deposition*), penambahan unsur pepaduan atau memilih bahan yang tahan terhadap korosi suhu tinggi seperti *stainless steel* dan *Inconel* [5,6].

Penelitian ini bertujuan untuk mencari parameter proses *sputtering* pada bahan *corten* yang dilapis Al yang di uji korosi pada suhu tinggi, dengan terbentuknya lapisan alumina dipermukaan, diharapkan meningkatkan ketahanan korosinya[7]. Bahan pelapis Al pada substrat *corten* ini selain dapat membentuk lapis lindung oksida aluminium yang kuat, lapisan ini juga mempunyai daya hantar panas yang baik. Sehingga sangat menguntungkan dalam aplikasinya sebagai komponen pengambil panas terutama pada instalasi pembangkit daya. Untuk meningkatkan ketahanan korosinya pada suhu tinggi bahan *corten*, dapat juga dilakukan dengan meningkatkan kandungan unsur pepaduan khrom dan menambah unsur vanadium, sehingga diperoleh bahan yang masih tahan terhadap oksidasi sampai suhu 650 °C [8]. Untuk mengetahui ketahanan korosi pada suhu tinggi, sampel *corten* yang telah dilapis Al dengan teknik *Sputtering* diuji dengan alat *TGA/MSB*. Hasil pelapisan Al yang telah dioksidasi selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X-Ray Diffractometer*(XRD) dan *Micro Hardness Tester*.

TEORI

Teknik Sputtering

Proses *sputtering* adalah proses dimana permukaan logam dari target dibombardir oleh ion, atom

atau partikel netral yang berenergi tinggi, maka atom-atom penyusun target tersebut akan terpental keluar melalui proses transfer momentum. Atom-atom target tersebut akan terhambur dari permukaan dan membentuk lapisan tipis pada permukaan substrat [9]. Ketebalan lapisan tipis yang terbentuk pada substrat dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya jarak, posisi relatif substrat terhadap target, waktu deposisi, arus yang dipakai sewaktu *Sputtering* dan jenis gas yang digunakan untuk *sputtering*. Keuntungan teknik ini adalah tidak memerlukan vakum yang tinggi, sedang kelemahannya adalah kadang-kadang hasilnya kurang bersih dan daya adhesinya juga tidak begitu baik, sehingga untuk meningkatkan daya adhesinya, sampel perlu dilakukan perlakuan lebih lanjut.

Pengertian Korosi

Bila logam berada pada lingkungan gas oksidan dan ketika suhunya naik, maka korosi dapat langsung terjadi dengan gas, meskipun tidak ada cairan elektrolit. Laju korosi (oksidasi) biasanya bertambah dengan naiknya suhu. Di permukaan akan terbentuk lapisan tipis berupa kerak (*scale*) sebagai hasil reaksi gas dengan logam, logam/kerak dapat berfungsi sebagai penyesuai (*interface*) pada pemindahan anion atau kation yang melewatinya yang juga menjadi elektrolit padat. Pada mulanya terbentuk lapisan tipis sangat cepat, berbentuk kerak padat tidak porous dan menutup seluruh logam. Kecepatan reaksi akan turun ketika lapisan kerak telah mencapai beberapa ribu angstrom. Untuk selanjutnya, pada kerak yang tidak porous, *transport* ionik melewati kerak akan mengontrol laju proses korosi. Kestabilan termodinamik, struktur ionik yang cacat dan corak morfologi dari bentuk kerak menjadi faktor kunci pada perhitungan ketahanan korosi dari paduan pada lingkungan tertentu [10].

Laju oksidasi dapat dihitung dari kurva perubahan massa persatuan luas terhadap waktu oksidasi. Untuk bahan yang mempunyai ketahanan korosi pada temperatur tinggi, karena dipermukaannya mempunyai lapis lindung yang kuat dan stabil biasanya kurvanya berbentuk parabolik, dengan persamaan parabolik standard dapat dituliskan [11]:

$$\Delta m = (k_p t)^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

- Δm : perubahan massa per satuan luas (g/m^2)
- k_p : konstanta parabolik ($g^2m^{-4}s^{-1}$)
- t : lama oksidasi (s)

Sedang bahan yang kurang/tidak tahan korosi suhu tinggi kurvanya cenderung linier.

METODE PERCOBAAN

Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *corten steel* berbentuk lempeng dengan ukuran

panjang dan lebar (14x10) mm dan tebal 2,6 mm. Untuk mendapatkan permukaan yang halus, maka sampel diampelas dengan mesin poles dari *grit* 80, 120, 400, 600, 800, 1000, 1200 dan 1500. Setelah halus sampel dibersihkan dengan aseton kemudian dikeringkan dan dimasukkan ke dalam plastik klip.

Proses Deposisi Lapisan Al

Dalam proses pendeposisian dengan metode *sputtering*, atom-atom target dibombardir dengan partikel-partikel berat (ion-ion +) yang bergerak cepat dalam ruang vakum bertekanan sekitar 0,25 torr, dengan arus 20 mA, sehingga atom bahan target akan terpercik dan memancar ke berbagai arah dimana sebagian akan bergerak menuju substrat. Atom-atom target terpercik dengan energi yang cukup tinggi tersebut selanjutnya menumbuk permukaan substrat dan bergerak masuk ke dalam bahan substrat untuk menempati kekosongan pada batas butir. Komposisi *corten* seperti ditunjukkan Tabel 1 [8].

Tabel 1. Komposisi kimia sampel *Corten*.

No.	Sampel	Cor-Ten (% berat)
1.	C	0,094
2.	S mak	0,005
3.	Pmak	0,090
4.	Si	0,447
5.	Al	0,044
6.	Mn	0,316
7.	Cu	0,318
8.	Ni	0,192
9.	V	0,008
10.	Cr	0,907
11.	Fe	sisanya

Pengujian Korosi Suhu Tinggi dan Karakterisasi Bahan

Pengujian korosi dilakukan dengan menggunakan peralatan *Thermal Gravimetry Analysis /Magnetic Suspension Balance (TGA/MSB)* merek *Rubotherm Präzisionsmesstechnik GMBH*, yang berkerja berdasarkan perubahan massa. Alat ini mempunyai kelebihan bila dibandingkan dengan peralatan termal gravimetri lainnya karena metoda penimbangan pada alat ini menggunakan suspensi magnetik dimana sampel yang ditimbang tidak kontak langsung dengan timbangannya. Besar kecilnya sampel akan berpengaruh pada besar kecilnya medan elektromagnet yang dihasilkan dan akan berpengaruh pada jarak magnet permanen.

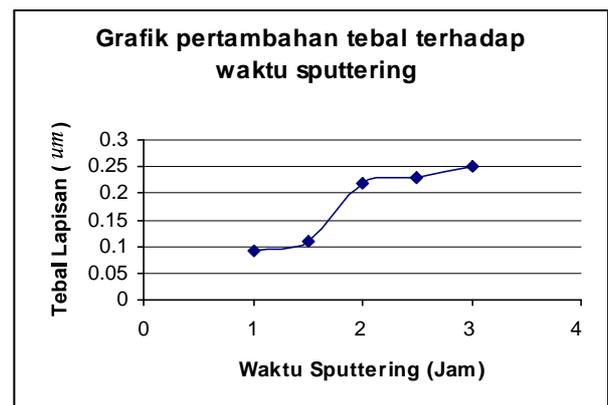
Dengan kondisi demikian maka memungkinkan untuk menimbang dalam kondisi, atmosferik, vakum dan bertekanan. Sampel dan timbangan yang terpisah ini akan

menguntungkan untuk uji korosi pada suhu dan tekanan yang tinggi atau media yang korosif dalam waktu yang lama, karena timbangan tidak ikut terkorosi. Berat sampel maksimal untuk timbangan ini adalah 25 g, suhu maksimalnya 1100 °C dan resolusinya sebesar 10 µg. Pengujian ketahanan korosi dengan *TGA/MSB* ini dilakukan selama 50 jam dengan suhu 400 °C untuk sampel *Corten*. Untuk mengetahui ketahanan korosi pada suhu tinggi, sampel *Corten* yang telah dilapis Al dengan teknik *Sputtering* diuji dengan alat *TGA/MSB*. Hasil pelapisan Al yang telah dioksidasi selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *X-Ray Diffractometer (XRD)* dan *Micro Hardness Tester*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Deposisi Lapisan Tipis Aluminium

Hasil deposisi lapisan tipis aluminium pada *corten steel* dengan teknik *sputtering*, tebal lapisan dihitung dari selisih berat sebelum dan sesudah pelapisan, dengan hasil seperti ditampilkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat semakin lama waktu *Sputtering* tebal lapisan semakin bertambah. Penambahan tebal lapisan dari lama *sputtering* 1,5 jam ke 2 jam cukup tinggi, tetapi setelah 2 jam pertambahannya sedikit. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu *sputtering* suhu *chamber/* sampel cenderung naik, ini dapat dilihat setelah selesai pelapisan sampelnya cukup panas. Dengan naiknya suhu maka gas yang tereksitasi/terionisasi yang merupakan gas pengion jumlahnya berkurang, sehingga arus ion menjadi menurun, dengan demikian bertambahnya tebal menjadi lambat.

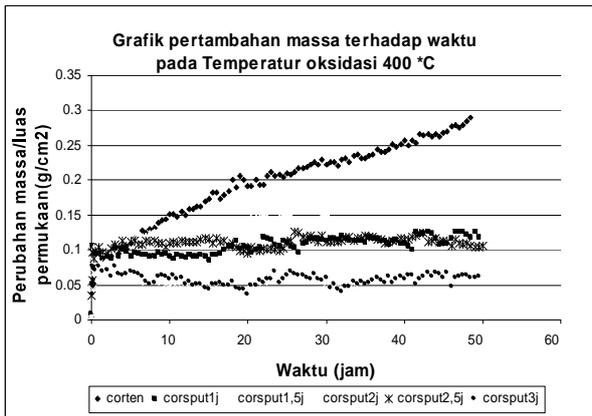


Gambar 1. Kurva hubungan ketebalan terhadap waktu.

Hasil Pengujian Korosi

Pengujian oksidasi (korosi suhu tinggi) sampel *corten* yang telah dideposisi Al, dilakukan menggunakan alat *TGA/MSB*, yang dialiri udara dengan kecepatan alir 21 mL/menit dan suhu dibuat tetap pada 400 °C, selama 50 jam. Data pengukuran dihitung menggunakan

rumus (1) dan hasilnya seperti ditampilkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 terlihat bahwa sampel *corten* yang tidak dideposisi Al, menunjukkan laju oksidasi yang paling tinggi (tidak tahan terhadap korosi), sedang yang dideposisi Al lebih tahan terhadap korosi, yaitu berturut turut 3 jam, 2 jam, 2,5 jam, 1 jam dan 1,5 jam. Aluminium hasil deposisi pada permukaan sampel sangat mudah bereaksi dengan oksigen, membentuk lapisan pelindung Al_2O_3 yang menghambat terjadinya oksidasi dan melindungi logam dari korosi selanjutnya. Al_2O_3 merupakan oksida logam yang sangat baik untuk melindungi korosi pada suhu tinggi.

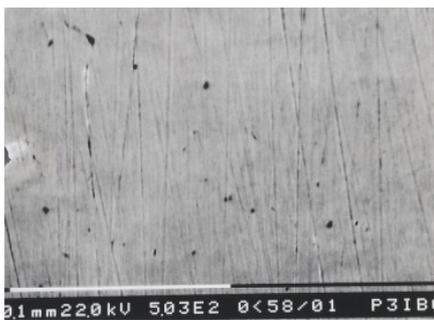


Gambar 2. Kurva hubungan antara pertambahan massa per satuan luas terhadap waktu oksidasi.

Pengaruh ketebalan lapisan tipis Al (0,18-0,25 μm) pada oksidasi suhu 400°C selama 50 jam belum memberikan hasil yang signifikan, namun ada kecenderungan makin tebal lapisan tipisnya akan lebih tahan terhadap korosinya dan juga tahan lebih lama

Hasil Pengamatan Dengan SEM-EDS

Hasil pengamatan struktur mikro menggunakan alat SEM pada sampel *corten as received*, (sebelum *sputtering*) dan *sputtering* Al selama 3 jam, seperti ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Dari Gambar 3 terlihat goresan-goresan yang merupakan akibat dari proses pengamplasan, dan sedikit pori, meskipun pengamplasan dilakukan menggunakan amplas *grit* 1500. Dari analisis unsur dengan EDS diperoleh hasil kandungan Al sebesar 0,06 % dan Fe



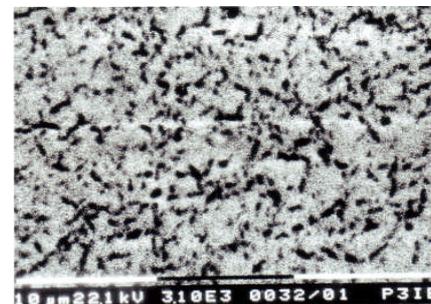
Gambar 3. Struktur mikro permukaan *corten* sebelum pelapisan (500x).



Gambar 4. Struktur mikro permukaan *corten*, hasil *sputtering* Al selama 3 jam (500x).

97,73 % berat, sisanya unsur lainnya. Komposisi ini mendekati dengan yang ada pada Tabel 1. Gambar 4 adalah struktur mikro sampel *corten* yang sudah dilakukan pelapisan Al selama 3 jam.

Dari Gambar 4 terlihat goresan-goresan yang tidak begitu dalam karena sebagian telah terisi oleh lapisan Al. Dari analisis unsur menggunakan EDS diperoleh hasil unsur Al sebesar 3,99 dan Fe sebesar 93,97% berat, sisanya unsur lainnya, ini menunjukkan terjadinya lapisan Al dipermukaan. Juga terlihat bercak hitam yang diduga merupakan oksida pengotor. Sedangkan struktur mikro *corten as received* dan hasil *sputtering* Al 3 jam yang dioksidasi pada suhu 400°C selama 50 jam seperti ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Struktur mikro sampel *corten as received* setelah oksidasi 400 °C selama 50 jam



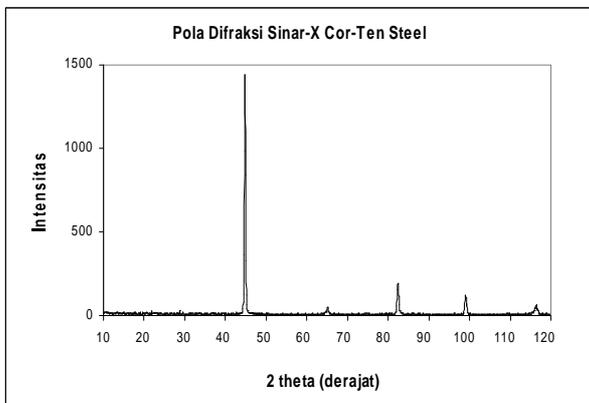
Gambar 6. Struktur mikro permukaan bahan *corten sputtering* 3 jam dan oksidasi 400 °C, selama 50 jam

Dari Gambar 5 terlihat pori-pori yang besar-besar butir-butir oksida tidak terlihat jelas, dengan pori-pori yang besar dapat mempermudah terjadinya oksidasi, sehingga pertumbuhan oksida tidak dapat dihambat.

Hal ini menunjukkan bahwa bahan tersebut tidak tahan terhadap korosi. Bila dibandingkan dengan Gambar 6 yang sudah dilapisi Al selama 3 jam, butiran-butiran oksida terlihat jelas dan merata juga pori-porinya relatif sedikit, sehingga pertumbuhan oksida dapat dihambat dengan demikian laju oksidasinya menjadi lebih kecil, hal ini seperti yang ditunjukkan Gambar 1, dimana laju oksidasi yang paling besar adalah sampel tanpa pelapisan Al. Dari hasil pengamatan di permukaan menggunakan SEM-EDS diperoleh unsur Al sebesar 5,93 % dan Fe 87.66 % berat, sisanya unsur lainnya. Hasil ini lebih besar bila dibandingkan dengan sebelum dilakukan oksidasi yaitu sebesar 3,99 % berat. Hal ini dimungkinkan karena interaksi antara elektron primer dengan material untuk menghasilkan komposisi tersebut sekitar 3 μm , sedang dipermukaan yang sudah dioksidasi ada oksida yang mengandung unsur oksigen yang oleh alat tersebut tidak terlihat, sehingga secara relatif kandungan Fe menjadi menurun, dengan demikian kandungan Al akan naik.

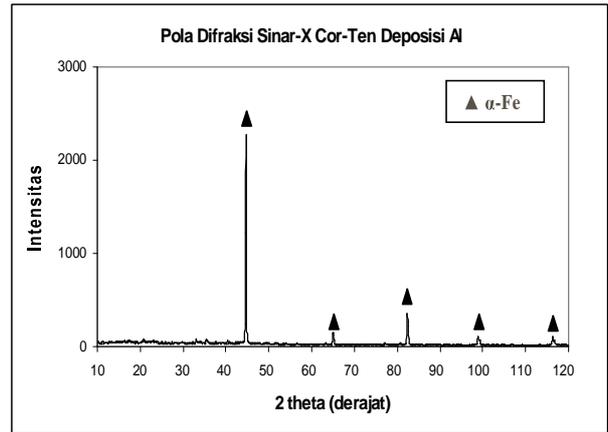
Hasil Difraksi Sinar-X

Dari hasil pengukuran bahan *corten as received*, *sputtering* Al 3 jam dan *sputtering* Al 3 jam yang dilanjutkan oksidasi selama 50 jam, dengan sinar X, diperoleh pola difraksi sinar-X seperti ditampilkan pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.

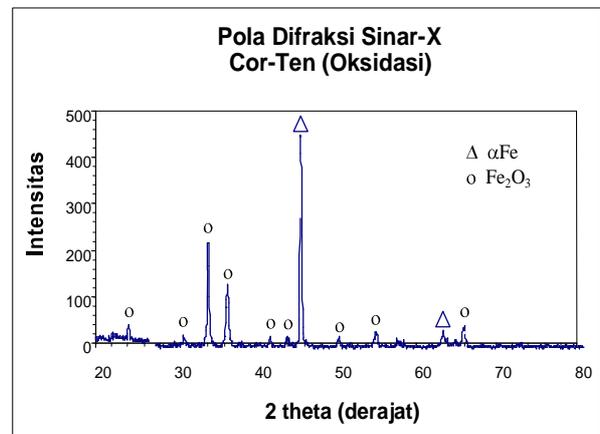


Gambar 7. Pola difraksi sinar-X Corten as received.

Gambar 7 adalah pola difraksi sinar-X *corten as received*. Dari Gambar 7 dapat terlihat bahwa baja *corten* merupakan baja yang mempunyai fasa Ferit. Gambar 8 adalah pola difraksi sinar X, hasil *sputtering* 3 jam. Dari Gambar tersebut tidak terlihat adanya puncak Al, semua masih terlihat fasa Ferit, meskipun dari hasil analisis EDS menunjukkan adanya kandungan Al sebesar 3,99 % berat. Bila dilihat dengan mata biasa (tanpa bantuan alat mikroskop) sudah terlihat adanya lapisan Al, namun karena terlalu tipis/sedikit atau masih bersifat *amorf* maka tidak terdeteksi oleh alat XRD. Biasanya kalau sudah dilakukan perlakuan panas baru muncul puncak-puncak dari bahan pelapis.



Gambar 8. Pola difraksi sinar-X *corten* setelah *sputtering* 3 jam.

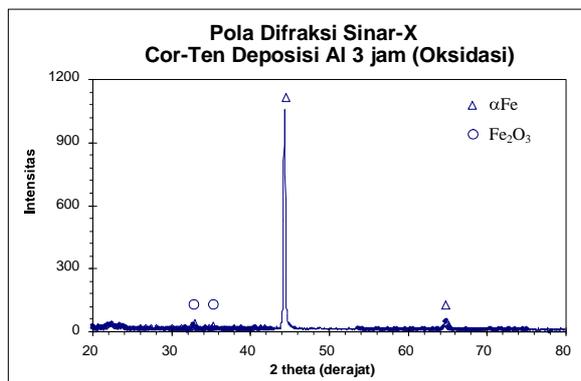


Gambar 9. Pola difraksi sinar-X *corten* oksidasi 50 jam pada suhu 400 °C.

Gambar 9 adalah Pola difraksi sinar X hasil *as received* yang dioksidasi pada 400°C selama 50 jam. Dari Gambar 9 nampak intensitas dari oksida besi (Fe_2O_3) besi cukup tinggi namun intensitas Feritnya masih dominan. Gambar 10 Pola difraksi sinar-X bahan *corten* yang di *sputtering* Al 3 jam dan telah dioksidasi selama 50 jam pada suhu 400 °C. Dari Gambar tersebut terlihat pola difraksi alfa ferit yang paling tinggi. Bila dibandingkan intensitas oksida besi pada Gambar 9 dan Gambar 10, intensitas pada Gambar 10 relatif jauh lebih kecil dari Gambar 9. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan oksida besi pada bahan yang telah dilapisi Al, pertumbuhan oksida besinya dihambat oleh oksida aluminium sehingga intensitasnya menjadi kecil.

Pada pola difraksi oksida aluminium tidak muncul hal ini diduga masih amorf, hal ini disebabkan suhu oksidasi kurang tinggi dan atau waktunya kurang lama, karena dari hasil analisis elemental menggunakan EDS diperoleh unsur Al sebesar 5,93 % berat. Dan dari penelitian sebelumnya [12], yang dioksidasi pada suhu 650°C, dengan waktu yang sama selama 50 jam, menunjukkan adanya oksida aluminium dan krom. Oksida aluminium dan oksida krom ini dapat tersebar merata

dengan daya adhesi yang kuat sehingga dapat mengurangi terjadinya korosi selanjutnya.



Gambar 10. Pola difraksi sinar-X *corten* sputtering Al 3 jam, oksidasi 50 jam pada suhu 400 °C.

KESIMPULAN

Dari hasil uji korosi suhu tinggi dengan alat TGA/MSB pada sampel *corten* yang dideposisi Al dengan suhu oksidasi 400 °C, menggunakan media udara dengan kecepatan aliran 21 mL/menit selama 50 jam. Diperoleh ketahanan korosi bahan *corten* yang terdeposisi Al yang paling tinggi adalah hasil sputtering selama 3 jam dengan ketebalan lapisan Al sebesar 0,25 µm yang merupakan waktu sputtering paling lama. Dan dari hasil pengamatan struktur mikro pada permukaan, menunjukkan pori-pori dan butir-butir oksida besi, alfa ferit dan oksida aluminium yang masih amorf yang berfungsi sebagai lapis lindung.

DAFTAR ACUAN

- [1]. TRETHERWAY K.R. and CHAMBERLAIN J., *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, alih bahasa Widodo, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta (1988)
- [2]. <http://www.nace.org/nace/index.asp>
- [3]. <http://www.osti.gov/bridge> (20004)
- [4]. DANI M., WAGIYO H., TEGUH S.P.P., SUSI I., *J. Mikroskopi dan Mikroanalisis*, **6** (1) (2003)
- [5]. LIYAJIANG, WANG JUAN, ZHANG YONGLAN and X HOLLY *Bull. Mater. Sci.*, **25** (7) (2002) 635-639
- [6]. LAI G.Y., *High Temperature Corrosion of Engineering Alloys*, Group Leader High Temperature Alloys Haynes International, Inc. Kokomo, Indiana, (1990)
- [7]. THELNING K. E., *Steel and its Heat Treatment*, Butterworth & Co, Landon (1975)
- [8]. <http://www.adq.it/eng/products/prodo3.htm>, (2003)
- [9]. WASA K. and HAYAKAWA S., *Handbook of Sputter Deposition Technology, Principle, Technology and Applications*, Noyes Publication, (1992)
- [10]. I.G. WRIGHT I.G., *High-Temperature Corrosion, Metal Handbook*, **13** (1990)

- [11]. STREHL G., NAUMENKO D., AL-BADAIRY H., RODRIQUEZ LOBO L. M., BORCHARDT G., TATLOCK G. J. and QUADAKKERS W., *J., Materials at High Temperature*, **17** (1) (2000)
- [12]. WAGIYO H., SYAHRIL, ARI H., M. TRISAMTIONO, Deposisi Al dan Nitridisasi Permukaan Bahan Cor-Ten Untuk Meningkatkan Kekerasan dan Ketahanan Korosi Pada Temperatur Tinggi, Seminar Internasional Mikroskopi dan Mikroanalisis, 15 September 2005 (belum terbit).