

PERAN PENAMBAHAN Y DAN Ce TERHADAP SIFAT KETAHANAN OKSIDASI MATERIAL INTERMETALIK TiAl DAN FeAl.

Lely Susita R.M., Suprpto, Tjipto Sujitno

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan

ABSTRAK

PERAN PENAMBAHAN Y DAN Ce TERHADAP SIFAT KETAHANAN OKSIDASI MATERIAL INTERMETALIK TiAl DAN FeAl. Peningkatan sifat ketahanan oksidasi material memerlukan rekayasa permukaan karena oksidasi biasanya dimulai dari permukaan. Dalam penelitian ini telah dilakukan implantasi ion Y dan Ce pada permukaan material intermetalik TiAl dan FeAl untuk meningkatkan sifat ketahanan oksidasi paduan tersebut. Sifat ketahanan oksidasi dari material TiAl dan FeAl disebabkan karena selama beroperasi mampu membentuk lapisan oksida pelindung seperti Y_2O_3 dan Ce_2O_3 . Untuk pengujian pada kondisi siklus termal, material dioksidasi pada suhu 850 °C dengan waktu pemanasan selama 5 jam dan pendinginan pada suhu kamar selama 19 jam. Proses oksidasi dilakukan dalam lingkungan oksigen, yang diperoleh dengan cara mengalirkan gas oksigen ke dalam tabung oksidasi dengan laju alir 0,019 cc/menit dan tekanan 1,5 kgf/cm². Berdasarkan analisis data hasil penelitian, menunjukkan bahwa implantasi ion Y dan Ce pada material TiAl memberikan efek ketahanan oksidasi yang lebih baik dibandingkan dengan implantasi ion Y dan Ce pada material FeAl. Kondisi optimum dari penambahan Y dan Ce dalam meningkatkan ketahanan oksidasi material FeAl selama siklus termal masing-masing dicapai pada dosis ion Y $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² dan Ce $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm², sedangkan kondisi optimum untuk meningkatkan ketahanan oksidasi Ti30Al dan Ti50Al masing-masing diperoleh pada dosis ion Ce $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² dan dosis ion Y $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm².

ABSTRACT

THE ROLE OF Y AND Ce ADDITION ON THE OXIDATION RESISTANCE OF TiAl AND FeAl INTERMETALLIC MATERIALS. Improvement of oxidation resistance properties needs an engineering surfaces, because the oxidation usually initiated from the surfaces. In this research addition of Y and Ce into TiAl and FeAl intermetallics surfaces has been done using ion implantation technique. The aim of this research is to study the effect of Y and Ce addition on their oxidation resistance properties. Improving of oxidation resistance properties of TiAl and FeAl materials is caused by the formation of protective layer of Y_2O_3 and Ce_2O_3 . For testing at thermal cycling condition, the samples were oxidized at 850 °C of temperature for 5 hours and cooled at room temperature for 19 hours. The oxidation process were carried out in oxygen environment by introducing the oxygen gas into furnace tube at flowrate 0,019 cc/min and pressure 1,5 kgf/cm². Based on the result and data analysis, it was found that the addition of Y and Ce can better improve the oxidation resistance of TiAl materials compared to the oxidation resistance of FeAl. Optimum conditions of Y and Ce ion dose in addition of oxidation resistance of FeAl during thermal cycling is 2.98×10^{15} ion/cm² and 4.47×10^{15} ion/cm² respectively, while optimum conditions for improving of oxidation resistance of Ti30Al and Ti50Al is achieved at Ce ion dose in order of 2.98×10^{15} ion/cm² and Y in order of 2.98×10^{15} ion/cm² respectively

PENDAHULUAN

Material intermetalik TiAl banyak digunakan sebagai material *airframe high performance* dan turbin gas, karena memiliki massa jenis yang rendah, temperatur leleh yang tinggi, kekuatan yang baik pada temperatur tinggi dan ketahanan mulur yang baik pula. Berdasarkan keunggulan sifatnya dan didukung oleh sifat ketahanan oksidasi yang baik pada temperatur tinggi, maka material ini banyak digunakan pada industri pesawat terbang sebagai

material yang dominan tetapi dalam jumlah yang terbatas karena kelemahan material TiAl tidak tahan terhadap operasi di atas suhu 700°C dan keuletannya menurun^[1]. Material TiAl di atas suhu 700°C tidak membentuk oksida proteksi selama proses oksidasi dalam udara, umumnya terbentuk campuran oksida Al_2O_3/TiO_2 yang mempunyai sifat non proteksi. Terbentuknya lapisan non proteksi disebabkan oleh menipisnya komponen Al/Ti karena untuk konsumsi pembentukan Al_2O_3/TiO_2 . Fenomena terbentuknya lapisan non proteksi yang menyebabkan laju pertumbuhan oksida yang cepat

biasanya terjadi pada waktu pemaparan yang cukup lama^[2].

Peningkatan ketahanan oksidasi suatu material memerlukan rekayasa permukaan karena oksidasi biasanya dimulai dari permukaan material. Salah satu metode yang digunakan untuk tujuan tersebut adalah teknik implantasi ion, yaitu suatu teknik untuk menambahkan atau mengimplantasikan unsur dopan ke dalam material target. Unsur dopan yang ditambahkan atau diimplantasikan ke dalam material untuk meningkatkan ketahanan oksidasi dinamakan elemen reaktif. Unsur-unsur yang termasuk dalam elemen reaktif antara lain Ce dan Y. Elemen reaktif tersebut dapat berperan sebagai penyetabil dan penambah daya lekat (*adherence*) dari lapisan oksida protektif yang telah terbentuk sehingga menjadi kuat walaupun terjadi siklus termal^[3].

Efek dari penambahan elemen reaktif pada material TiAl maupun FeAl untuk jumlah tertentu akan mengurangi kerusakan dari lapisan oksida yang telah terbentuk akibat siklus termal dengan kata lain dapat menghambat laju oksidasi, hal ini disebabkan karena material TiAl dan FeAl yang mengandung elemen reaktif mampu membentuk lapisan oksida pelindung (*protective oxide layer*) yang berperan sebagai penghambat difusi oksigen sehingga diperoleh laju pertumbuhan oksida yang lebih lambat dibandingkan material TiAl dan FeAl^[4].

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati sifat ketahanan oksidasi pada material TiAl dan FeAl yang tidak diimplantasi maupun yang diimplantasi dengan ion Y dan Ce setelah proses oksidasi. Selama proses oksidasi, pemanasan cuplikan dilakukan pada suhu 800°C berkenaan dengan pemakaian TiAl dan FeAl sebagai material struktural pada temperatur menengah (600°C – 800°C).

TATA KERJA DAN PERCOBAAN

Tahapan dalam penelitian ini meliputi

1. Persiapan cuplikan dari material Ti30Al (komposisi 70% Ti dan 30% Al), Ti50Al (komposisi 50% Ti dan 50% Al) dan FeAl meliputi pemotongan dalam bentuk keping, penghalusan dengan kertas abrasif, dan pencucian cuplikan dengan menggunakan alkohol untuk menghilangkan adanya kontaminasi (debu, minyak atau lemak) pada permukaan cuplikan.
2. Teknik eksperimen, setiap cuplikan yang telah disiapkan diimplantasi dengan ion yttrium dan

cerium pada berbagai variasi dosis ion, hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan material dengan sifat ketahanan oksidasi yang optimal.

3. Pengujian atau karakterisasi, meliputi uji oksidasi dan pengukuran perubahan berat sebagai akibat proses oksidasi dengan menggunakan neraca analitis (ketelitian 0,1 mg). Uji oksidasi dilakukan dalam media oksigen pada kondisi siklus termal dengan waktu pemanasan setiap siklus termal 5 jam pada suhu 800°C dan pendinginan 19 jam pada suhu kamar. Selama uji siklus termal, cuplikan dimasukkan ke dalam tabung yang dialiri gas oksigen dengan laju aliran 0,019 cc/menit dan tekanan 1,5 kgf/cm². Adanya oksigen di lingkungan sekitar cuplikan menyebabkan terjadinya proses oksidasi pada suhu 800°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Parameter implantasi ion

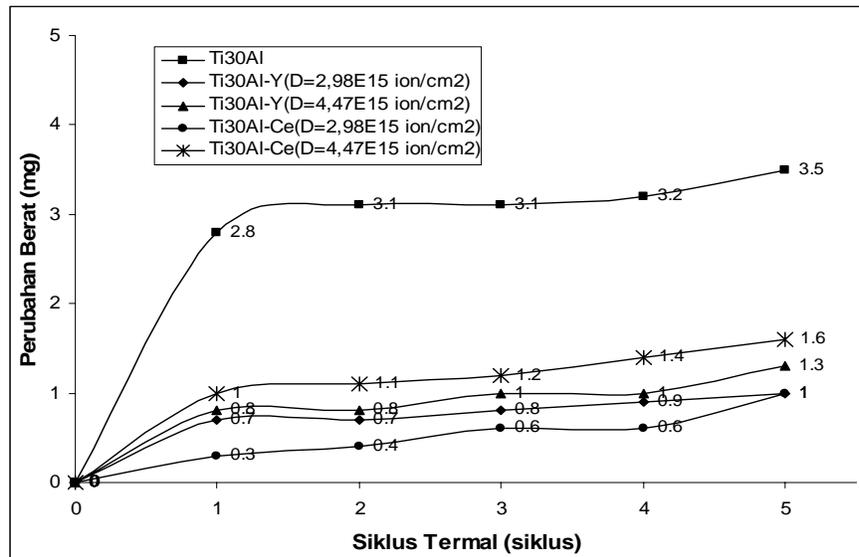
Dalam teknik implantasi ion, terdapat parameter penting yang akan mempengaruhi perubahan sifat ketahanan oksidasi material setelah berakhirnya proses implantasi ion. Parameter tersebut adalah energi ion, dosis ion, massa atau jenis ion dopan dan massa atau jenis material target. Dosis ion akan menentukan jumlah ion atau prosentase ion yang diimplantasikan, sedangkan besarnya dosis ion ditentukan oleh besarnya arus berkas ion yang dihasilkan oleh sumber ion dan waktu pada saat berlangsungnya proses implantasi. Energi ion akan menentukan kedalaman penetrasi ion dopan (berhubungan dengan jangkauan ion) pada permukaan material target, sedangkan besarnya energi ion ditentukan oleh besarnya tegangan tinggi pemercepat ion dopan.

Quadackers dkk.^[5] menyebutkan bahwa penambahan ion dopan akan efektif bila jumlahnya berkisar antara 0,1% hingga 2% berat tergantung dari jenis ion dopan maupun material targetnya, dan terdistribusi secara merata pada kedalaman orde 500 Å.

Sebelum proses implantasi ion terlebih dahulu dilakukan perhitungan teoritis dan simulasi program SRIM. Hasil perhitungan ini ditampilkan pada Tabel 1, dan dari data-data tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk memprediksi prosentase ion.

Tabel 1. Parameter hasil perhitungan proses implantasi ion

Material Target	Jenis Ion Dopan	Energi Ion (keV)	Jangkau Ion (Å)	Dosis Ion (ion/cm ²)	% Ion
Ti30Al	Y	100	424	2,98×10 ¹⁵	1,37
				4,47×10 ¹⁵	2,04
	Ce	100	346	2,98×10 ¹⁵	1,91
				4,47×10 ¹⁵	2,84
Ti50Al	Y	100	453	2,98×10 ¹⁵	1,33
				4,47×10 ¹⁵	1,98
	Ce	100	371	2,98×10 ¹⁵	1,84
				4,47×10 ¹⁵	2,73
FeAl	Y	100	259	2,98×10 ¹⁵	1,67
				4,47×10 ¹⁵	2,49
				5,96×10 ¹⁵	3,29
				7,45×10 ¹⁵	4,08
	Ce	100	211	2,98×10 ¹⁵	2,35
				4,47×10 ¹⁵	3,42
				5,96×10 ¹⁵	4,59
				7,45×10 ¹⁵	5,61

Gambar 1. Laju oksidasi siklus termal Ti30Al, Ti30Al-Y dan Ti30Al-Ce hasil implantasi ion pada dosis ion 2,98×10¹⁵ ion/cm² dan 4,47×10¹⁵ ion/cm²

Uji oksidasi siklus termal

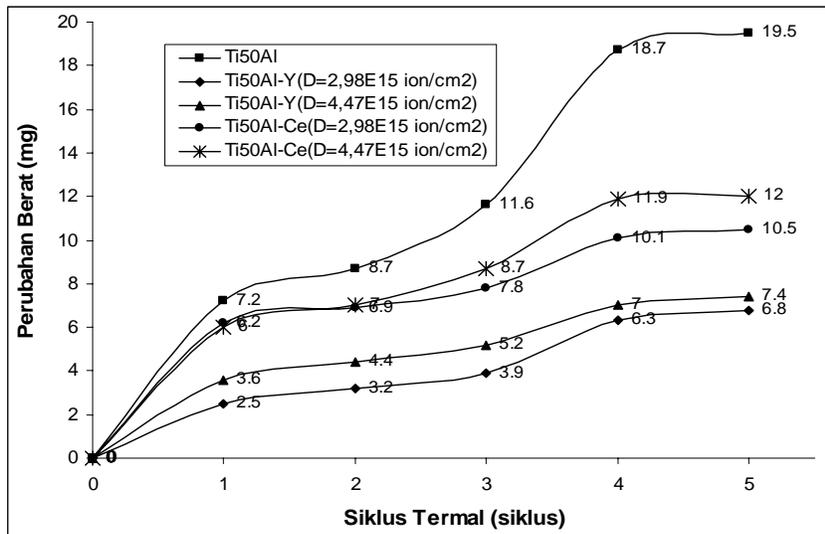
Cuplikan TiAl dan FeAl yang telah diimplantasi dengan ion dopan yttrium (Y) dan cerium (Ce) diuji sifat ketahanan oksidasinya dalam media oksigen selama 7 siklus termal dengan waktu pemanasan setiap siklus termal 5 jam pada suhu 850°C dan pendinginan 19 jam pada suhu kamar. Selama proses oksidasi berlangsung pada cuplikan TiAl dan

FeAl, probabilitas terbesar terjadinya oksidasi adalah antara yttrium dan oksigen membentuk oksida yttrium (Y₂O₃) serta antara cerium dan oksigen membentuk oksida cerium (Ce₂O₃), karena oksidasi dimulai dari permukaan cuplikan yang mengandung kedua jenis dopan tersebut.

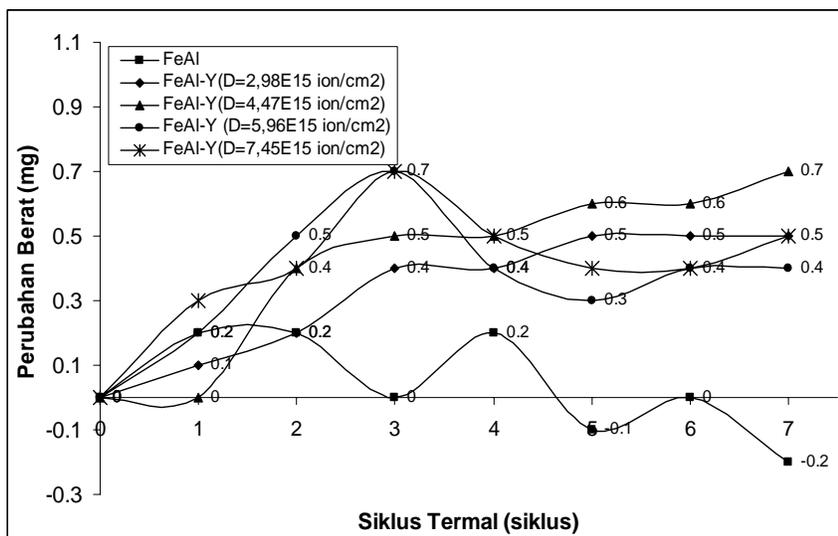
Oksida yang stabil dan tidak mudah menguap diharapkan akan tetap tinggal pada permukaan TiAl

dan FeAl yang disertai dengan peningkatan berat cuplikan. Apabila oksida tetap lekat dan menjadi penghalang difusi oksigen akan menyebabkan laju oksidasi semakin berkurang. Dalam hal ini laju oksidasi berbanding terbalik dengan berat oksida. Persamaan untuk laju oksidasi seperti ini $dy/dt = c/y$, kalau diintegrasikan menjadi $y^2 = c t$ dengan y : berat oksida, t : waktu dan c : adalah konstanta. Apabila oksida yang terbentuk berpori dan tidak berfungsi sebagai pelindung maka laju pertumbuhan oksida konstan terhadap waktu. $dy/dt = c$, yang bila diintegrasikan menghasilkan $y = c t$ ^[1].

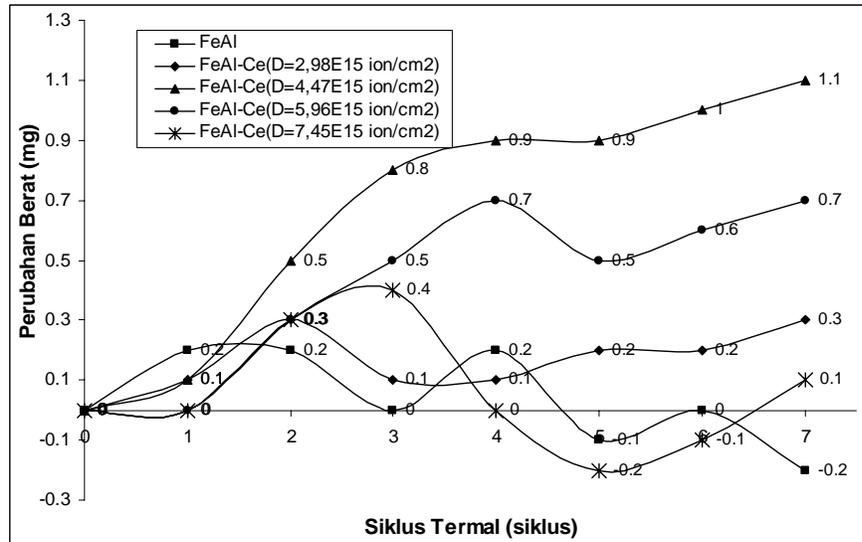
Apabila oksida yang terbentuk berpori dan tidak berfungsi sebagai pelindung maka laju pertumbuhan oksida konstan terhadap waktu. $dy/dt = c$ ^[1]. Metode pengukuran laju oksidasi yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode konvensional dengan menggunakan neraca analitis merk Sartorius tipe 2462, yang mempunyai ketelitian 0,1 mg. Hasil uji oksidasi siklus termal dalam lingkungan oksigen pada suhu 850°C untuk paduan TiAl dan FeAl yang diimplantasi dengan ion Y dan Ce untuk berbagai variasi dosis ion disajikan pada Gambar 1 – 4.



Gambar 2. Laju oksidasi siklus termal Ti50Al, Ti50Al-Y dan Ti50Al-Ce hasil implantasi ion pada dosis ion $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² dan $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm²



Gambar 3. Laju oksidasi siklus termal FeAl dan FeAl-Y hasil implantasi ion pada dosis ion $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm², $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm², $5,96 \times 10^{15}$ ion/cm², dan $7,45 \times 10^{15}$ ion/cm².



Gambar 4. Laju oksidasi siklus termal FeAl dan FeAl-Ce hasil implantasi ion pada dosis ion $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm², $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm², $5,96 \times 10^{15}$ ion/cm², dan $7,45 \times 10^{15}$ ion/cm².

PEMBAHASAN

Sifat ketahanan oksidasi material Ti30Al dan Ti50Al

Dari hasil uji oksidasi menunjukkan bahwa selama uji oksidasi pada permukaan Ti30Al dan Ti50Al, oksida yang terbentuk pada awal oksidasi hingga akhir siklus semakin tebal (laju oksidasinya cepat). Hal ini menandakan bahwa oksida yang telah terbentuk tidak mampu merintanginya masuknya oksigen ke permukaan Ti30Al maupun Ti50Al. Namun demikian dalam rentang 5 siklus termal, tidak terjadi pengelupasan oksida untuk semua dosis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan oksida pelindung yang terbentuk mempunyai daya lekat yang kuat sehingga mampu menghalangi proses oksidasi selanjutnya.

Pengaruh implantasi ion Y dan Ce terhadap sifat ketahanan oksidasi material Ti30Al

Ion Y dan Ce yang diimplantasikan pada permukaan Ti30Al divariasikan pada dosis ion $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² dan $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm². Pada Gambar 3 terlihat adanya kecenderungan terbentuknya lapisan oksida yang bersifat protektif, baik untuk Ti30Al yang diimplantasi dengan ion Y maupun Ce. Pada rentang waktu oksidasi dari awal oksidasi hingga akhir siklus, laju oksidasinya lebih kecil dari pada Ti30Al yang tidak diimplantasi. Hal ini disebabkan karena material yang mengandung Y atau Ce akan

terbentuk lapisan Y_2O_3 atau Ce_2O_3 yang berperan sebagai penghambat difusi oksigen sehingga mengurangi laju oksidasi.

Dapat disimpulkan bahwa penambahan ion Y atau Ce pada material Ti30Al mampu meningkatkan ketahanan oksidasi material Ti30Al. Hal ini ditunjukkan adanya penurunan laju oksidasi. Kondisi optimum dari penambahan ion Y atau Ce dalam meningkatkan ketahanan oksidasi material Ti30Al selama siklus termal dicapai pada dosis ion Ce $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm², karena pada dosis ini laju oksidasinya paling rendah.

Pengaruh implantasi ion Y dan Ce terhadap sifat ketahanan oksidasi material Ti50Al

Ion Y dan Ce yang diimplantasikan ke permukaan Ti50Al divariasikan pada dosis ion tertentu, yaitu $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² dan $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm². Dari hasil uji oksidasi menunjukkan bahwa laju oksidasi dipengaruhi oleh implantasi elemen reaktif Y dan Ce pada permukaan Ti50Al.

Laju oksidasi Ti50Al yang diimplantasi dengan ion Ce mempunyai profil laju oksidasi yang hampir sama dengan Ti50Al yang tidak diimplantasi. Namun demikian ketahanan oksidasi material Ti50Al yang diimplantasi ion Ce masih lebih baik dari pada Ti50Al yang tidak diimplantasi, hal ini ditunjukkan adanya penurunan laju oksidasi. Pada Ti50Al yang diimplantasi ion Y pada dosis ion $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² dan $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm²

mempunyai profil laju oksidasi yang lebih baik dari pada Ti50Al yang diimplantasi dengan ion Ce, karena pada kondisi ini laju oksidasinya lebih rendah. Dalam rentang 5 siklus termal tidak terjadi pengelupasan oksida untuk Ti50Al yang tidak diimplantasi maupun yang diimplantasi dengan ion Y dan Ce, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Dapat disimpulkan bahwa penambahan ion Y dan Ce pada material Ti50Al mampu meningkatkan ketahanan oksidasi material Ti50Al. Kondisi optimum untuk meningkatkan ketahanan oksidasi diperoleh pada dosis ion Y sebesar $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² karena pada dosis ini laju oksidasinya lebih mendatar.

Sifat ketahanan oksidasi material FeAl

Selama uji oksidasi, pembentukan oksida pada permukaan cuplikan FeAl ditandai dengan adanya lapisan tipis berwarna hitam yang dapat diamati secara visual. Oksida yang terbentuk pada awal oksidasi hingga siklus kedua mengalami peningkatan. Namun ketika waktu oksidasi lebih dari dua siklus, laju oksidasinya menurun karena terjadi pengelupasan oksida yang telah terbentuk. Pada siklus yang keempat, laju oksidasinya mengalami peningkatan dan akhirnya turun kembali karena terjadi pengelupasan oksida bahkan sampai ke material induk. Peristiwa ini ditandai dengan berat cuplikan setelah oksidasi lebih kecil dibandingkan dengan sebelum oksidasi. Pengelupasan ini berlanjut sampai pada akhir siklus, yaitu siklus yang ketujuh, sehingga berat cuplikan setelah oksidasi lebih kecil dibandingkan dengan berat cuplikan sebelum oksidasi. Ada beberapa faktor yang menyebabkan pengelupasan oksida tersebut, antara lain

1. Adanya *thermal stress* yang muncul akibat siklus termal dan *stress* akibat pertumbuhan oksidanya sendiri. Apabila siklus termal berlangsung lama dan terus menerus maka akumulasi *thermal stress* akan semakin besar, sehingga oksida yang telah terbentuk tidak mampu lagi menahan beban tersebut, sebagai akibatnya terjadilah pengelupasan oksida.
2. Terbentuknya lapisan non proteksi yang disebabkan oleh menipisnya komponen aluminium karena untuk pembentukan alumina (Al₂O₃)

Kelemahan ini dapat diperbaiki dengan menambahkan elemen reaktif pada jumlah tertentu (0,1% - 2%) dengan teknik implantasi ion. Elemen reaktif yang diimplantasikan ke permukaan cuplikan FeAl tersebut adalah yttrium (Y) dan cerium (Ce). Unsur-unsur ini sangat mudah

bereaksi dengan oksigen, dan oksida yang terbentuk bersifat protektif.

Pengaruh implantasi ion Y terhadap sifat ketahanan oksidasi material FeAl

Ion Y yang diimplantasikan ke permukaan FeAl divariasikan pada dosis ion tertentu, yaitu $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm², $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm², $5,96 \times 10^{15}$ ion/cm², dan $7,45 \times 10^{15}$ ion/cm². Dari hasil uji oksidasi menunjukkan bahwa laju oksidasi dipengaruhi oleh implantasi ion Y pada permukaan FeAl. Semakin besar dosis ion Y maka semakin besar laju oksidasinya. Hal ini disebabkan oleh semakin bertambahnya ion Y untuk membentuk oksida yttrium

Profil kinetika oksidasi FeAl yang tidak diimplantasi maupun yang diimplantasi dengan ion Y ditunjukkan oleh Gambar 1. Pada FeAl yang diimplantasi dengan ion Y pada dosis $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² dan $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm², oksida yang terbentuk sudah mempunyai daya lekat yang kuat, hal ini ditunjukkan dengan tidak terjadinya pengelupasan oksida yang telah terbentuk selama rentang waktu oksidasi 7 siklus. Sedangkan untuk dosis $5,96 \times 10^{15}$ ion/cm² dan $7,45 \times 10^{15}$ ion/cm², laju oksidasinya meningkat dari awal oksidasi hingga siklus yang ketiga, setelah itu laju oksidasi menjadi turun karena terjadi pengelupasan oksida. Namun pengelupasan oksida yang terjadi pada FeAl yang diimplantasi dengan ion Y tidak sampai ke material induknya.

Secara umum implantasi ion Y ke permukaan FeAl mampu meningkatkan ketahanan oksidasi dibandingkan dengan FeAl yang tidak diimplantasi. Kondisi optimum dari penambahan ion Y dalam meningkatkan ketahanan oksidasi material FeAl selama siklus termal dicapai pada dosis $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm², karena pada dosis ini laju oksidasinya paling rendah. Hal ini menandakan bahwa oksida yang telah terbentuk bersifat protektif, mampu menghalangi proses oksidasi selanjutnya.

Pengaruh implantasi ion Ce terhadap sifat ketahanan oksidasi material FeAl.

Profil laju oksidasi FeAl yang diimplantasi dengan ion Ce ditunjukkan oleh Gambar 2. Dalam rentang dosis ion antara $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² $7,45 \times 10^{15}$ ion/cm², kondisi optimum untuk meningkatkan ketahanan oksidasi diperoleh pada dosis ion Ce sebesar $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm², karena pada dosis ini oksida yang terbentuk sudah mempunyai daya lekat yang kuat, hal ini ditunjukkan dengan tidak terjadinya pengelupasan oksida yang terbentuk selama rentang waktu oksidasi 7 siklus. Sedangkan

FeAl yang diimplantasi dengan ion Ce pada dosis $7,45 \times 10^{15}$ ion/cm² mempunyai profil laju oksidasi yang hampir sama dengan FeAl yang tidak diimplantasi, karena selama proses oksidasi berlangsung, oksida yang terbentuk cenderung bersifat non protektif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan seperti yang telah diuraikan di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Kelemahan material TiAl dan FeAl untuk aplikasi pada temperatur di atas 700°C dapat diatasi dengan menambahkan elemen reaktif pada jumlah tertentu (0,1% - 2% berat) serta terdistribusi merata pada kedalaman kurang dari 500 Å. Dengan teknik implantasi ion dapat dilakukan penambahan elemen reaktif dalam orde 0,1% - 2% berat secara akurat serta terdistribusi pada kedalaman kurang dari 500 Å dengan mengatur dosis dan energi ion.
2. Implantasi ion Y dan Ce pada material TiAl dan FeAl mampu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap perubahan sifat ketahanan oksidasi material TiAl dan FeAl selama siklus termal pada suhu 850°C. Sifat ketahanan oksidasi material TiAl yang diimplantasi dengan ion Y dan Ce lebih baik dibandingkan dengan material FeAl yang diimplantasi dengan ion Y dan Ce.
3. Kondisi optimum dari penambahan ion Y dan Ce dalam meningkatkan ketahanan oksidasi material Ti30Al dan Ti50Al masing-masing diperoleh pada dosis ion Ce $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² dan dosis ion Y $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm², sedangkan kondisi optimum untuk meningkatkan ketahanan oksidasi FeAl selama siklus termal masing-masing dicapai pada dosis ion Y $2,98 \times 10^{15}$ ion/cm² dan Ce $4,47 \times 10^{15}$ ion/cm².

DAFTAR PUSTAKA

- [1] WANG, G.X. and DAHMS, M., "Influence of Heat Treatment on Microstructure of Ti-35%Wt Al Prepared by Elemental Powder Metallurgy", *Scripte Metallurgica et Materialia*, Vol. 26 Hal 717, 1992
- [2] HORNAUER, U., et al., "Microstructure and Oxidation Kinetics of Intermetallic TiAl after Si and Mo Ion Implantation", *Surface and Coatings Technology*, 128-129, (2000), 418-422.

- [3] STRAWBRIDGE, A. and HOU, P.Y., "The Role of Reactive Elements in Oxide Scale Adhesion", *Materials at High Temperatures*, Volume 12, Numbers 2-3 (1994) 177-181.
- [4] MAYER, J., QUADAKKERS, W.J., UNTORO, P., "Improvement of High Temperature Corrosion Resistance of Titanium Aluminides", Draft Proposal for a joint Germany-Indonesian Research Project (2002).
- [5] QUADAKKERS, et al., "Bath to Bath Variations in The Oxidation Behaviour of Alumina Forming Fe-Based Alloys", *Materials and Corrosion*, 51 (2000) 350 – 357.