

PEMBENTUKAN DAN LAJU PERTUMBUHAN OKSIDA SUPERALLOY Ni-Cr-Al-Mo PADA 1000°C

Muhammad Iqbal Gumay dan Eddy Bagus Basuki

Program Studi Rekayasa Pertambangan, Bidang Khusus Rekayasa Korosi
Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Jawa Barat, Indonesia.

Email : iqbalgumay@gmail.com

ABSTRAK

Tulisan ini menampilkan hasil penelitian pembentukan dan laju pertumbuhan oksida superalloy Ni-Cr-Al-Mo hasil dari oksidasi isotermik dan siklik pada temperatur 1000°C. Molibdenum divariasikan konsentrasinya pada tiga komposisi paduan yaitu, paduan 1 (73,66Ni-14,89Al-8,42Cr-3,02Mo); paduan 2 (72,65Ni-15,35Al-7,97Cr-4,04Mo); dan paduan 3 (73,51Ni-15,54Al-8,95Cr- 2,01 Mo). Oksidasi isotermik dilakukan selama 10,100,1.000,dan 10.000 menit untuk mengamati pertumbuhan ketebalan dan jenis-jenis oksida yang terbentuk menggunakan mikroskop optik dan analisis EDS sedangkan oksidasi isotermik dilakukan untuk mengamati perubahan massa yang terjadi pada ketiga paduan dengan melakukan penimbangan pada setiap akhir periode waktu siklik setiap 24 jam. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu peningkatan waktu oksidasi meningkatkan ketebalan oksida, penambahan molibdenum menurunkan ketahanan oksidasi paduan yang ditandai dengan peningkatan ketebalan oksida dan penurunan massa paduan yang terbesar dikarenakan pembentukan MoO₃ volatil yang menyebabkan pengelupasan (*spalling*) pada kerak oksida, penambahan molibdenum mendorong pembentukan oksida NiO serta menghambat pembentukan oksida protektif Al₂O₃ dan Cr₂O₃ melalui pembentukan daerah *denuded zone*.

Kata kunci : molibdenum, oksidasi, oksida, *superalloy*, *denuded zone*.

I. Pendahuluan

Aplikasi pada temperatur tinggi dalam lingkungan oksidatif pada *superalloy* akan menyebabkan penurunan pada performanya. Perubahan ini disebabkan oleh berbagai mekanisme diantaranya perayapan (*creep*), dan oksidasi pada temperatur tinggi. Khususnya pada oksidasi temperatur tinggi akan terjadi pembentukan oksida-oksida dari unsur-unsur pembentuk komposisi paduan tersebut. Logam penyusun paduan dalam bentuk ionnya akan terdifusi ke permukaan dan bereaksi dengan oksigen untuk membentuk oksida⁽²⁾. Proses ini sangat merugikan karena akan memicu degradasi logam yang akan berakibat menurunnya kekuatan dari paduan pada temperatur tinggi.

Oleh karena itu, paduan yang digunakan untuk aplikasi temperatur tinggi biasanya ditambahkan unsur-unsur logam yang berguna untuk mempertahankan kekuatan dan

ketahanannya, diantaranya adalah molibdenum yang banyak ditambahkan kedalam berbagai jenis superalloy terutama *nickel-based superalloy* sebagai elemen penguat⁽¹⁾ terutama untuk meningkatkan ketahanan terhadap perayapan (*creep*)⁽⁸⁾. Efek penguatan ini dikarenakan molibdenum yang terdifusi dengan lambat pada matriks nikel sehingga pada *creep* temperatur tinggi yang mekanismenya terkontrol oleh mekanisme difusi, penambahan molibdenum merupakan cara yang efektif untuk menurunkan laju *creep*⁽⁸⁾.

Namun, permasalahan yang timbul dari penggunaan molibdenum pada *superalloy* pada temperatur tinggi adalah menurunnya ketahanan oksidasi paduan pada aplikasi temperatur tinggi di lingkungan oksidatif. E.Dokumaci dan B.Onay telah meneliti pada paduan dengan konsentrasi molibdenum melebihi 10 %berat molibdenum menghalangi pembentukan kerak oksida protektif pada permukaan paduan⁽¹⁹⁾.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakterisasi pembentukan oksida dan kinetika pertumbuhan oksida pada paduan yang diaplikasikan di temperatur tinggi pada lingkungan oksidatif. Penelitian ini akan mengkaji pengaruh variasi konsentrasi molybdenum terhadap jenis oksida yang terbentuk dan laju pertumbuhan oksida-oksidanya yang dilakukan pada temperatur 1.000°C selama 10,100, 1.000,10.000 menit sebagai model bagi aplikasi operasi *turbine jet blade*.

II. Metode Percobaan

1. Pembuatan Paduan

Pada penelitian ini dihasilkan tiga komposisi paduan, yaitu paduan 1 (73,66Ni-14,89Al-8,42Cr-3,02Mo); paduan 2 (72,65Ni-15,35Al-7,97Cr-4,04Mo); dan paduan 3 (73,51Ni-15,54Al-8,95Cr- 2,01 Mo) dihasilkan dari peleburan bahan bahan logam dasar Ni dengan kemurnian 99,99%, Cr 100%, Al 100%, dan Mo 100%. Logam Cr dan Mo diperoleh dari BATAN sedangkan Ni dan Al diperoleh dari Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB. Peleburan dilakukan dalam suatu EAF DC busur tunggal selama ± 20 menit dalam 4 tahap.

2. Metode Perlakuan

Ketiga paduan hasil peleburan dikenai *solution treatment* pada 1200°C selama 5 jam lalu dilanjutkan dengan aging selama 10 menit untuk memunculkan presipitat. Setelah aging, ketiga paduan dipotong dengan *wire cutter* untuk mendapatkan spesimen-spesimen dalam bentuk kupon untuk proses oksidasi isotermik dan siklik. Selanjutnya dilakukan oksidasi isotermik dalam *muffle furnac* selama 10, 100, 1.000, dan 10.000 menit lalu spesimen dikeluarkan dan dilakukan pendinginan kejut (*quenching*). Oksidasi siklik juga dilakukan dalam *muffle furnac*

dengan periode waktu siklik setiap 24 jam lalu dilakukan penimbangan pada setiap akhir periodenya.

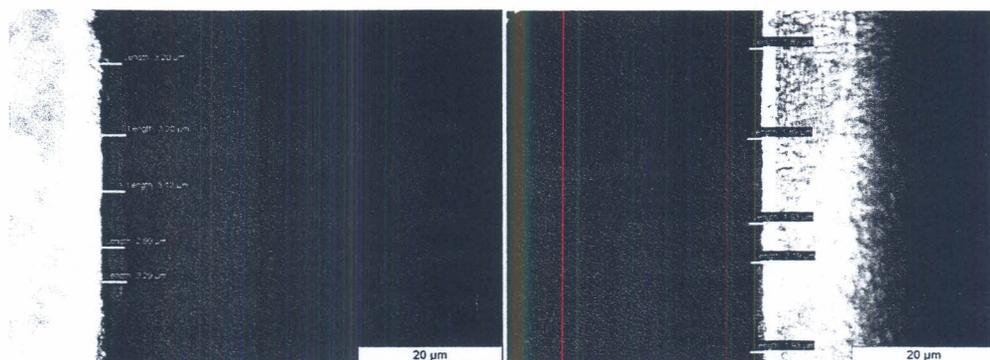
3. Metode Analisis

Spesimen ketiga paduan hasil oksidasi isotermik dianalisis mikrostruktur ketebalan oksidanya dengan menggunakan mikroskop optik. Setelah itu, dilakukan analisis terhadap persen massa oksida yang terbentuk dengan menggunakan EDS dan XRD pada kerak oksida untuk menganalisa pentahapan pembentukan oksida. Untuk spesimen hasil oksidasi siklik data perubahan massa hasil penimbangan dianalisa untuk mengetahui pengaruh molibdenum terhadap kestabilan kerak oksida yang terbentuk.

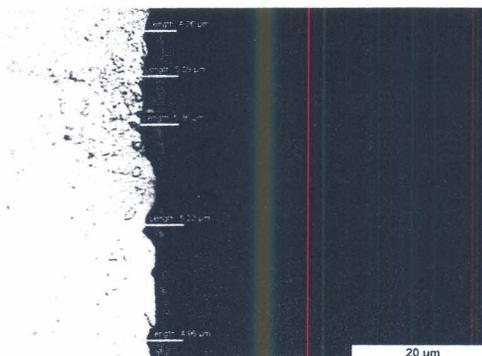
III. Hasil Percobaan dan Diskusi

1. Pengaruh Waktu Oksidasi Terhadap Pertumbuhan Ketebalan Oksida

Pada penelitian ini pengaruh penambahan molibdenum terhadap ketebalan oksida yang terbentuk diamati pada ketiga paduan yang dioksidasi secara isotermik pada temperatur 1000°C. Ketebalan oksida pada ketiga paduan ditunjukkan pada Gambar 1 dan perbandingannya pada Gambar 2.

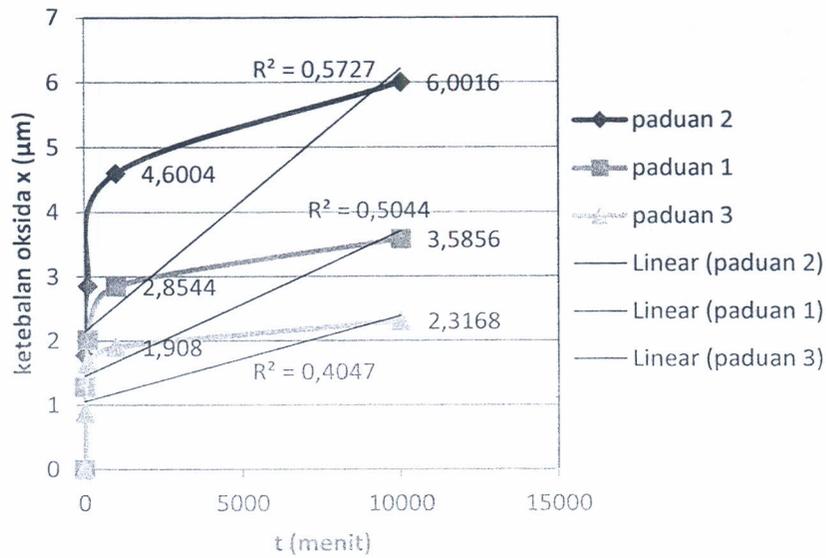


(a) (b)



(c)

Gambar 1 Mikrostruktur ketebalan oksida pada (a) paduan 3, (b) paduan 1 dan (c) paduan 2.



Gambar 2 Perbandingan ketebalan oksida paduan 2, 1, 3 terhadap waktu oksidasi

Dengan meningkatnya waktu oksidasi maka semakin banyak atom-atom logam yang berdifusi ke permukaan lalu menjadi kation-kation logam dan bereaksi dengan oksigen membentuk oksida. Oleh karena itu pada oksidasi isotermik ketebalan oksida terus bertambah. Ketebalan oksida yang didapatkan pada Gambar 3.1 tidaklah linier dengan peningkatan waktu oksidasi. Oleh sebab itu, hubungan antara keduanya dapat dirumuskan dengan $x^n = k \cdot t$. Dari hubungan persamaan ini diperoleh nilai n untuk setiap paduan tiap waktu oksidasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai n untuk paduan 1,2,3 pada tiap waktu oksidasi

t (minute)	n		
	paduan 1	paduan 2	paduan 3
0	0	0	0
10	0,109	0,248	0,053
100	0,153	0,228	0,109
1000	0,151	0,220	0,093
10000	0,138	0,194	0,091

Nilai n untuk ketiga paduan yang berada dibawah 1 menunjukkan bahwa laju oksidasi semakin menurun dengan meningkatnya waktu dan dengan nilai

yang dibawah $\frac{1}{2}$ menunjukkan bahwa laju oksidasi untuk ketiga paduan pada dasarnya terkendali oleh proses difusi yang terjadi saat ion logam melewati kerak oksida. Paduan 2 dengan kandungan molibdenum tertinggi memiliki nilai n yang tertinggi untuk setiap waktu oksidasi dibandingkan dengan paduan 1 dan 3.

2. Pengaruh Penambahan Molibdenum Terhadap Ketebalan Oksida

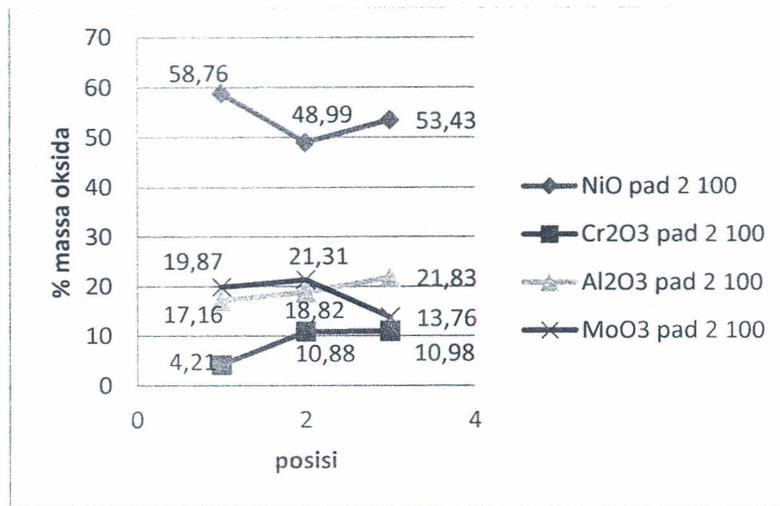
Perbandingan ketebalan oksida dari ketiga paduan terdapat pada grafik Gambar 3.1 dan nilai n pada Tabel 3.2 yang menunjukkan bahwa paduan 2 dengan kandungan molibdenum tertinggi memiliki ketebalan oksida yang terbesar pada tiap waktu oksidasinya dibandingkan dengan paduan 1 dan paduan 3 dengan kandungan molibdenum sedang dan terendah. Setelah oksidasi selama 10.000 menit, ketebalan oksida pada paduan 2 senilai $6 \mu\text{m}$ lebih besar daripada paduan 1 dan 3 yang hanya bernilai $3,5856 \mu\text{m}$ dan $2,3168 \mu\text{m}$.

Perbandingan nilai n pada tiap waktu oksidasi juga menunjukkan hal yang sama. Dari grafik ketebalan oksida dan perbandingan nilai n ini terlihat bahwa molibdenum memiliki efek menurunkan ketahanan oksidasi paduan pada aplikasi temperatur tinggi dengan peningkatan ketebalan oksida terbesar.

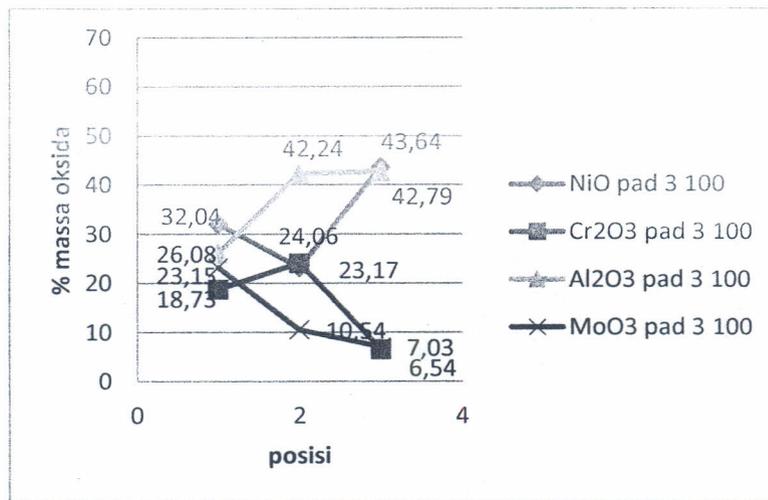
Pengaruh molibdenum ini terjadi karena molibdenum mempengaruhi pembentukan oksida tertentu pada paduan baik mendorong maupun menghambat pembentukannya. Hal ini yang menyebabkan adanya perbedaan ketebalan oksida yang terbentuk. Efek molibdenum terhadap pembentukan masing-masing oksida akan dibahas pada Subbab 3.3.

3. Pengaruh Molibdenum Terhadap Oksida yang Terbentuk

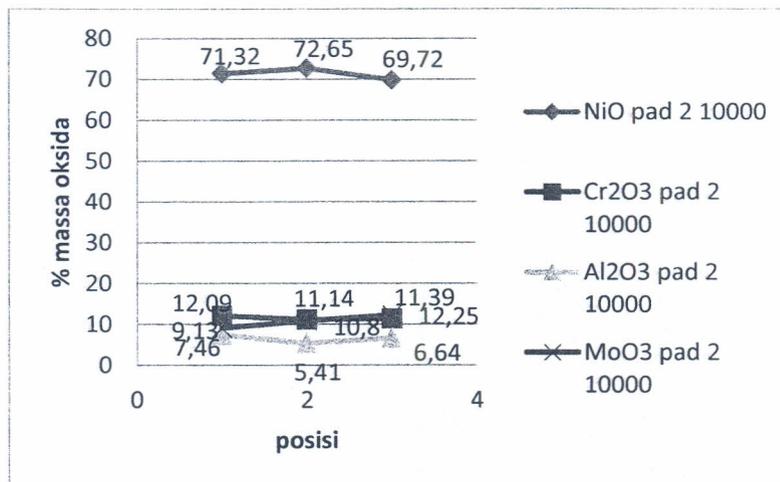
Analisis EDS yang telah dilakukan pada tiga titik pengamatan terhadap kerak oksida ketiga paduan memberikan hasil persen massa oksida NiO , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , dan MoO_3 . Posisi pengamatan spot 1 berada pada kerak oksida bagian luar. Hal ini menunjukkan posisi ini mewakili oksida-oksida yang terbentuk pada tahap awal oksidasi, dimisalkan dengan tahap 1, begitu pula seterusnya semakin ke bagian dalam kerak oksida berarti oksida yang diamati merupakan oksida yang paling akhir terbentuk pada tahap 2 dan 3. Perbandingan persen massa oksida NiO , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , dan MoO_3 ditunjukkan melalui pada Gambar 3 -6.



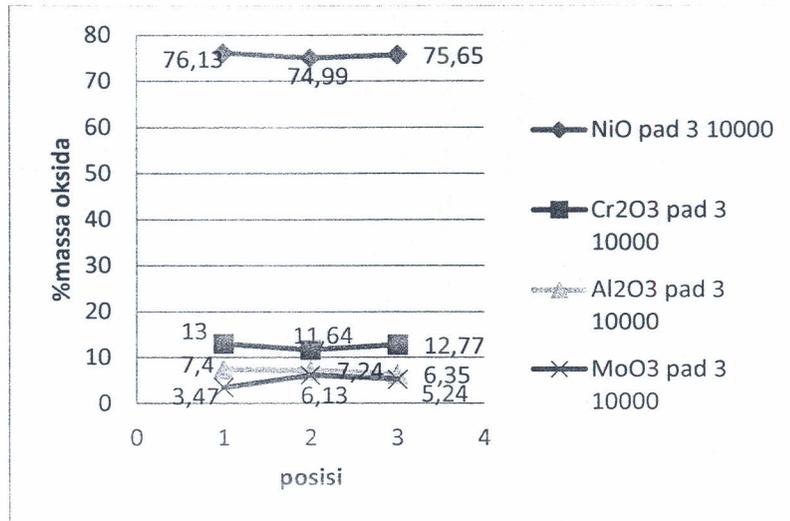
Gambar 3 Persen massa oksida paduan 2 setelah oksidasi 100 menit



Gambar 4 Persen massa oksida paduan 3 setelah oksidasi 100 menit



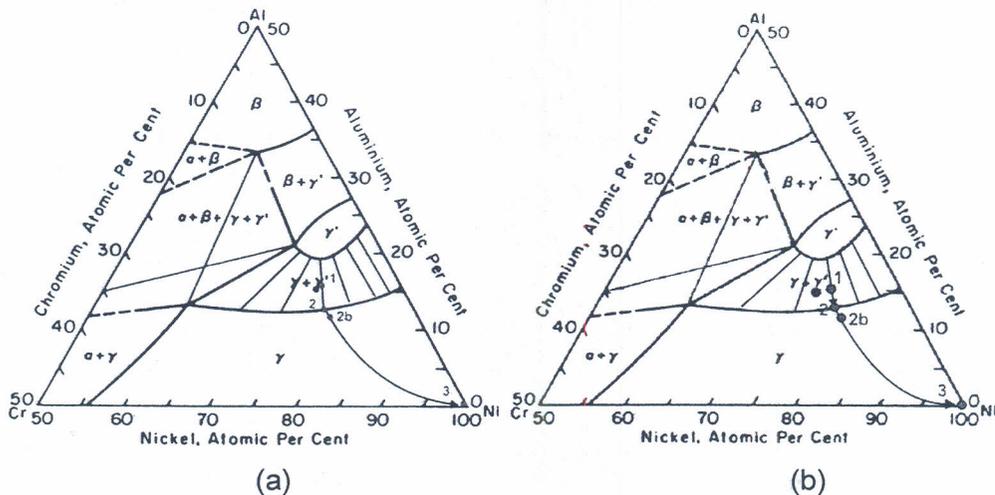
Gambar 5 Persen massa oksida paduan 2 setelah oksidasi 10.000 menit



Gambar 6 Persen massa oksida paduan 3 setelah oksidasi 10.000 menit

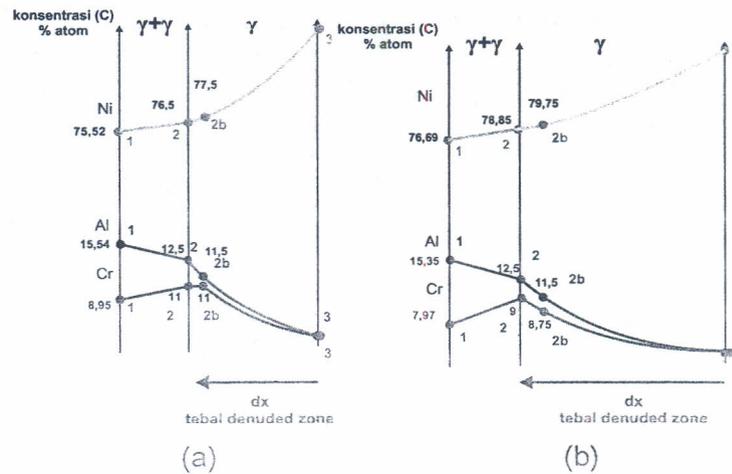
Pada saat oksidasi mendekati 100 menit, molibdenum menunjukkan pengaruh yang lebih signifikan terhadap pembentukan oksida NiO, Cr₂O₃ dan Al₂O₃. Pengaruh molibdenum terhadap oksida-oksida ini disebabkan karena molibdenum mendorong pelarutan presipitat Ni₃Al (γ') sehingga meningkatkan ketebalan daerah berfasa gamma Ni (γ) atau yang disebut sebagai *denuded zone*.

Daerah *denuded zone* ini mempengaruhi difusi dari atom-atom logam Ni, Al, dan Cr. Pengaruh ini dapat dijelaskan dari perbedaan fluks difusi Ni, Al, dan Cr pada daerah *denuded zone* ini. Untuk menjelaskan pengaruh ini dilakukan analisa terhadap perubahan kesetimbangan fasa pada oksidasi 1000°C pada komposisi terner paduan 2 dan 3 yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Ilustrasi perubahan kesetimbangan fasa pada oksidasi 1000 °C pada komposisi (a) paduan 2 dan (b) paduan 3 ⁽¹⁰⁾.

Perubahan kesetimbangan fasa pada kedua komposisi terner paduan diilustrasikan pada Gambar 8 a dan 8 b.



Gambar 8 Skema perubahan kesetimbangan komposisi Ni, Cr, dan Al pada daerah berfasa $\gamma + \gamma'$ dan γ (denuded zone) pada (a) paduan 2 dan (b) paduan 3

Kesetimbangan awal ditandai dengan angka 1 pada kedua paduan, selama oksidasi pada 1000°C berlangsung terjadi pelarutan presipitat Ni_3Al sehingga kesetimbangan berubah sepanjang "tie line" dari kesetimbangan 1 ke kesetimbangan 2. Setelah mencapai kesetimbangan 2, kesetimbangan fasa pada kedua komposisi paduan mengalami perubahan dari kesetimbangan 2 ke 2b lalu ke kesetimbangan 3. Skema ini menunjukkan bahwa pada daerah *denuded zone*, konsentrasi atom Ni semakin meningkat saat mendekati antarmuka paduan/oksida sedangkan konsentrasi Al dan Cr semakin menurun saat mendekati antarmuka paduan/oksida.

Adanya kenaikan konsentrasi Ni dan penurunan konsentrasi Al, dan Cr pada *denuded zone* ini mempengaruhi proses difusi atom Ni, Al, dan Cr dengan mempengaruhi fluks difusinya seperti dalam Hukum Ficks I ⁽⁷⁾.

$$\vec{J}_i = D_i \frac{dC_i}{dx_i}$$

Sehingga, pada difusi Al dan Cr, meningkatnya tebal denuded zone (dx_{Al} dan dx_{Cr}) mengakibatkan jarak difusi Al ke antarmuka paduan semakin tinggi dan dC_{Al} semakin menurun. Hal ini menyebabkan fluks difusi Al (\vec{J}_{Al}) dan (\vec{J}_{Cr}) semakin menurun dengan meningkatnya ketebalan denuded zone. Untuk difusi Ni, walaupun terjadi peningkatan tebal denuded zone (dx_{Ni}), konsentrasi Ni malah semakin meningkat dengan peningkatan tebal denuded zone (dC_{Ni} naik). Hal ini

menyebabkan fluks difusi Ni (\vec{J}_{Ni}) semakin meningkat dengan meningkatnya ketebalan denuded zone.

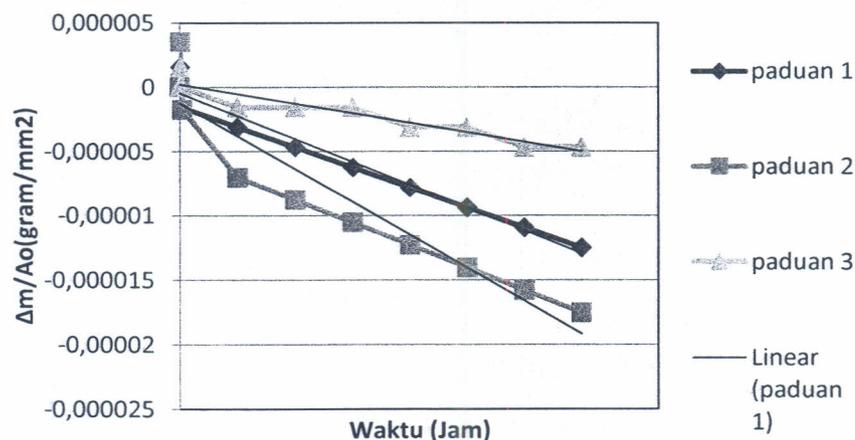
Hal ini berarti, peningkatan denuded zone menurunkan laju difusi atom Al dan Cr tetapi meningkatkan laju difusi atom Ni ke antarmuka paduan/oksida untuk terdifusi sebagai kation ke antarmuka oksida/gas oksigen dan bereaksi dengan oksigen untuk membentuk oksida Al_2O_3 , Cr_2O_3 dan NiO.

Daerah denuded zone pada paduan 2 jauh lebih lebar/luas dibandingkan pada paduan 3 dikarenakan molibdenum menurunkan ketahanan pelarutan presipitat Ni_3Al ⁽⁴⁾. Oleh karenanya, dapat disimpulkan bahwa molibdenum mendorong pembentukan oksida NiO, tetapi menurunkan atau menghalangi pembentukan oksida Al_2O_3 dan Cr_2O_3 melalui pembentukan daerah denuded zone.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh E Dokumaci dan B.Onay⁽⁵⁾ yang menyimpulkan bahwa pada paduan dengan konsentrasi persen berat molibdenum diatas 10 %, pembentukan oksida protektif Al_2O_3 dan Cr_2O_3 menjadi terhalangi. Bahkan pada penelitian ini persen berat Mo yang hanya melebihi 3%, pengaruh negatif molibdenum terhadap pembentukan kerak oksida protektif Al_2O_3 dan Cr_2O_3 telah dapat terjadi.

4. Pengaruh Molibdenum Terhadap Perubahan Massa Pada Oksidasi Siklik

Pengaruh molibdenum pada oksidasi siklik diteliti dengan mengamati perubahan massanya tiap periode waktu siklik. Pada penelitian ini diperoleh data perubahan massa untuk ketiga paduan dengan konsentrasi molibdenum yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



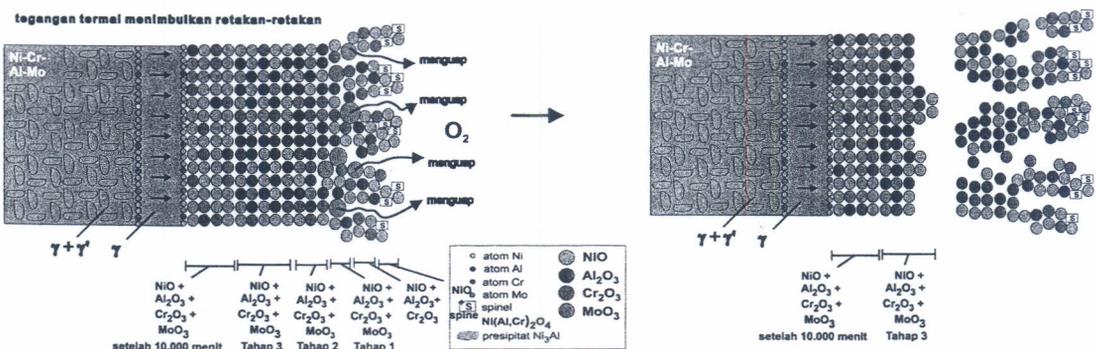
Gambar 9 Perubahan massa ketiga paduan terhadap waktu oksidasi siklik

Pada mulanya yakni pada waktu siklus 10 menit ketiga paduan mengalami penambahan massa dari pembentukan oksida. Seperti yang ditunjukkan pada hasil EDS bahwa oksida-oksida yang terbentuk yakni NiO, Cr₂O₃, Al₂O₃, dan MoO₃. Oksida-oksida ini pada mulanya menambah massa dari ketiga paduan.

Paduan 2 dengan kandungan molibdenum terendah pada waktu siklus 10 menit memperoleh penambahan massa yang terbesar yaitu $3,50877 \times 10^{-6}$ gram/mm² dibandingkan paduan 1 dan 3 yang hanya mendapatkan penambahan massa $1,5625 \times 10^{-6}$ dan $1,5625 \times 10^{-6}$ gram/mm². Hasil ini sesuai dengan yang diperoleh pada oksidasi isotermik bahwa molibdenum memberikan dorongan untuk pertumbuhan ketebalan oksida.

Namun, setelah melewati waktu oksidasi 10 menit ketiga paduan mengalami pengurangan massa secara terus menerus bahkan hingga waktu siklus ke 168 jam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13. Paduan 2 mengalami penurunan sebesar $-1,75439 \times 10^{-5}$ gram/mm² sedangkan paduan 1 dan 3 mengalami penurunan massa sebesar $-1,25 \times 10^{-5}$ gram/mm² dan $-4,6875 \times 10^{-6}$ gram/mm².

Penurunan massa pada ketiga paduan merupakan pengaruh dari terjadinya pengelupasan kerak oksida akibat kerja simultan dari tegangan termal dan volatilisasi oksida MoO₃⁽³⁾. Pengaruh ini diilustrasikan pada Gambar 10. Tegangan termal dihasilkan pada saat pendinginan dan pemanasan siklik akibat perbedaan koefisien ekspansi termal oksida NiO, Cr₂O₃, Al₂O₃ dan MoO₃⁽²⁾⁽⁹⁾. Koefisien ekspansi termal MoO₃ yang bernilai $9,3 \times 10^{-4}$ jauh lebih besar dibandingkan oksida lainnya (NiO bernilai $17,1 \times 10^{-6}$, Cr₂O₃ bernilai $7,3 \times 10^{-6}$, dan Al₂O₃ bernilai $5,4 \times 10^{-6}$) sehingga volume MoO₃ akan sangat besar dibanding oksida lain dan menekan oksida lain pada kerak oksida sehingga akan timbul retakan-retakan yang mempermudah pengelupasan kerak oksida.



Gambar 10 Skema pengelupasan kerak oksida akibat tegangan termal dan volatilisasi MoO₃

Selain itu, dengan tervolatilisasinya MoO_3 maka gas MoO_3 akan mencari jalan keluar melalui retakan-retakan yang telah terbentuk. Hal ini menyebabkan retakan yang telah terbentuk semakin besar dan merekah sehingga kerekatan kerak oksida akan menurun. Menurunnya kerekatan oksida ini meningkatkan proses pengelupasan kerak oksida. Hal ini menunjukkan hasil yang sama dari penelitian yang telah dilakukan oleh Yunoshin Imai dan Yoshizumi Nishi yang menyatakan bahwa penambahan molibdenum meningkatkan kehilangan berat karena terjadi volatilisasi MoO_3 .

Dari hasil penelitian ini molibdenum memberikan pengaruh negatif berupa penurunan massa akibat pengelupasan kerak oksida pada paduan baik dari adanya tegangan termal akibat perbedaan koefisien ekspansi termal, maupun karena pembentukan MoO_3 yang bersifat mudah menguap (*volatile*).

IV. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pembentukan dan laju pertumbuhan oksida superalloy Ni-Cr-Al-Mo pada 1000°C , kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan waktu oksidasi pada temperatur 1000°C meningkatkan ketebalan oksida yang terbentuk. Meningkatnya ketebalan oksida tidak mengikuti kinetika oksidasi linier maupun parabolik. Nilai n pada ketiga paduan menunjukkan bahwa setelah melewati oksidasi 100 menit laju oksidasi semakin menurun dan terkendali oleh proses difusi tidak tunak yang terjadi saat ion logam melewati kerak oksida.
2. Peningkatan konsentrasi molibdenum menurunkan ketahanan oksidasi paduan pada 1000°C dengan peningkatan ketebalan oksida. Nilai n yang diperoleh setelah oksidasi 10.000 menit pada paduan 2 sebesar 0,194, nilai ini jauh lebih besar dari paduan 1 dan 3 sebesar 0,138 dan 0,09. Dengan tingginya nilai n yang diperoleh peningkatan ketebalan oksida pada paduan 2 adalah yang terbesar.
3. Oksida yang terbentuk pada oksidasi paduan NiCrAlMo adalah NiO, Cr_2O_3 , Al_2O_3 , MoO_3 . Pengaruh penambahan molibdenum pada oksida-oksida ini adalah meningkatkan ketebalan denuded zone dengan pelarutan presipitat Ni_3Al sehingga mendorong pembentukan oksida NiO, menghalangi pembentukan oksida Cr_2O_3 dan Al_2O_3 dengan menurunnya laju difusi atom Cr dan Al pada denuded zone menuju ke antarmuka paduan/oksida
4. Pengaruh molibdenum terhadap oksidasi siklik pada temperatur 1000°C adalah menurunnya ketahanan paduan terhadap kehilangan massa. Kehilangan massa

paduan 2 setelah oksidasi siklik selama 168 jam sebesar $-1,754 \times 10^{-5}$ gram/mm², nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan paduan 1 dan 3 yang bernilai $-1,25 \times 10^{-5}$ dan $-4,68 \times 10^{-6}$ gram/mm². Tingginya kehilangan massa pada paduan 2 disebabkan oleh kandungan Mo yang tertinggi pada paduan ini. Molibdenum meningkatkan pengelupasan kerak oksida paduan dari adanya perbedaan koefisien ekspansi termal oksida MoO₃ bernilai $9,3 \times 10^{-4}$ yang jauh lebih tinggi dibandingkan oksida lain sehingga meningkatkan tegangan termal maupun karena terjadi penguapan oksida MoO₃.

ACKNOWLEDGMENT

Penelitian ini adalah bagian dari Program Riset KK Metalurgi, dibiayai oleh Institut Teknologi Bandung (ITB), Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih kepada ITB untuk dukungan baik berupa peralatan dan bahan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Imai, Yunoshin., Nishi, Yoshizumi., (1962), Effect of Molybdenum upon the High-Temperature Oxidation and the V₂O₅ Attack on Ni-Cr-Base Alloys, NII-Electronic Library Service, Tohoku University, Tohoku.
2. Iqbal, Muhammad Gumay., (2010), Pembuatan Superalloy dengan Tinjauan Pengaruh Penambahan Molibdenum terhadap kestabilan struktur mikro pada temperatur 1000°C, Tugas Akhir, Teknik Metalurgi, FTTM, ITB, Bandung.
3. Callister, William D.Jr., (2006), Material Science and Engineering an Introduction, John Wiley & Sons Inc., Utah.
4. Dokumaci, E., Onay, B., (2008), Oxidation Behaviour of Mo Containing Alloys, Department of Metallurgical and Material Engineering, Dokuz Eylul University Turkey, Trans Tech Publications, Switzerland.
5. Kutz, Myer., (2002), Handbook of Material Selection, John Wiley & Sons, New York.
6. Meier, G.H., Birks, N., (1983), Introduction to High Temperature Oxidation of Metals, Edward Arnold (Publisher) Ltd, London.
7. Notis, Michael R., Merchant, Sailesh M., (1983), A Review : Constitution of the Al-Cr-Ni System, Lehigh University, Bethlehem.
8. Peters, K.R., Whittle, D.P. and Stringer, J., (1975) Oxidation and Hot Corrosion of nickel-based alloys containing molybdenum, Corrosion Science Volume 16, Pages 791-796, IN1-IN11, 797-804, Department of Metallurgy and Material Science, University of Liverpool, Liverpool.
9. Sims. T Chester, Stoloff. S Norman, Hagel. C William, (1987), *Superalloy II*, John Wiley & Sons, Inc. , Toronto.
10. S.K. Deb, (1968), Physical Properties of a Transition Metal Oxide, Proc.R.Soc.Lond.A.16 vol.304, London.