

PERILAKU OKSIDASI PADUAN Ti-6Al-4V PADA TEMPERATUR TINGGI

Meilinda Nurbanasari, Djoko Hadi Prajitno*, dan Hendra Chany, ST
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri ITENAS

Jl. PHH. Mustapa no.23, Bandung

Email : meilinda@itenas.ac.id

* Penelitian Tenaga Nuklir BATAN

Jl. Tamansari – Bandung

Abstrak

Paduan Ti6Al4V banyak digunakan sebagai komponen yang beroperasi pada temperatur tinggi, seperti pada sudu turbin pesawat terbang, komponen otomotif, dan industri pesawat luar angkasa. Temperatur kerja yang relatif tinggi (550-900 °C) dapat menyebabkan paduan ini teroksidasi. Pada kondisi tersebut, sifat fisik dan karakter paduan Ti6Al4V dapat berubah sehingga mempengaruhi kualitas sifat materialnya itu sendiri. Oleh karena itu perlu diamati pengaruh proses oksidasi pada temperatur tinggi terhadap morfologi lapisan oksida, perubahan struktur mikronya, oksida yang terbentuk serta komposisi kimia lapisan oksida pada permukaan paduan Ti6Al4V.

Penelitian dilakukan dengan cara memanaskan spesimen paduan Ti6Al4V yang berukuran 1x1 cm² dan tebal 2 mm dalam tungku pada temperatur 950°C, 1050°C dan 1150°C dengan variasi waktu penahanan selama 1 jam, 4 jam, dan 9jam. Spesimen yang telah dioksidasi dilakukan karakterisasi dengan menggunakan difraksi sinar X, mikroskop optik, dan Scanning Electron Microscope (SEM)-EDAX. Pada spesimen juga dilakukan penimbangan untuk mengetahui perubahan berat yang terjadi.

Hasil karakterisasi menunjukkan adanya lapisan oksida TiO, TiO₂, Al₂O₃, V₂O₅, dan V₃O₅ pada permukaan paduan Ti6Al4V yang telah teroksidasi. Pengaruh dari variasi temperatur oksidasi dan waktu penahanan teramati bahwa temperatur yang tinggi dan lamanya waktu oksidasi akan membentuk lapisan oksida semakin tebal, penambahan berat dan ukuran butir semakin besar. dan mencapai kondisi maksimum pada temperatur 1150°C dengan waktu oksidasi 9 jam.

Kata kunci: Titanium, Oksidasi, Lapisan Oksida

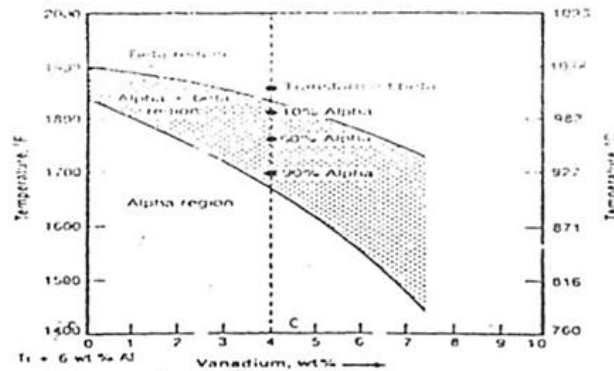
I. PENDAHULUAN

Secara umum paduan titanium memiliki keunggulan antara lain titik lebur lebih tinggi, sifat ketahanan korosi lebih baik, dan massa jenis lebih rendah jika dibandingkan dengan baja tahan karat. Paduan titanium banyak diaplikasikan pada komponen yang memiliki temperatur kerja tinggi, seperti pada sudu turbin pesawat terbang. Temperatur tinggi tersebut akan menyebabkan proses oksidasi sehingga menyebabkan kerusakan material, diantaranya meliputi:⁽³⁾ kerusakan Internal yaitu terjadi perubahan sifat mekanik khususnya kekerasan (*hardness*) dan keuletan (*ductility*), dan kerusakan Eksternal yaitu mengakibatkan perubahan dimensi dan berat material serta terjadinya kerak di permukaan material.

Penelitian bertujuan untuk melihat dampak kerusakan eksternal akibat proses oksidasi, seperti perubahan berat spesimen, kandungan unsur dan fasa yang terbentuk, perubahan morfologi lapisan oksida pada paduan permukaan, struktur mikro, dan oksida-oksida yang terbentuk pada paduan Ti6Al4V. Informasi tersebut diharapkan dapat memberikan masukan bagi industri yang menggunakan paduan Ti6Al4V sebagai bahan struktur yang beroperasi pada temperatur kerja tinggi.

II. Dasar Teori Paduan Ti6Al4V

Ti6Al4V tersusun oleh 90% atom titanium, 6% atom aluminium, dan 4% atom vanadium dan termasuk dalam klasifikasi paduan titanium yang mempunyai fasa alpha-beta. Paduan ini dapat ditingkatkan kekuatannya dengan cara *solution heat treatment* dan penuaan. Diagram kesetimbangan fasa biner Ti6Al-4V dapat dilihat pada gambar 1.



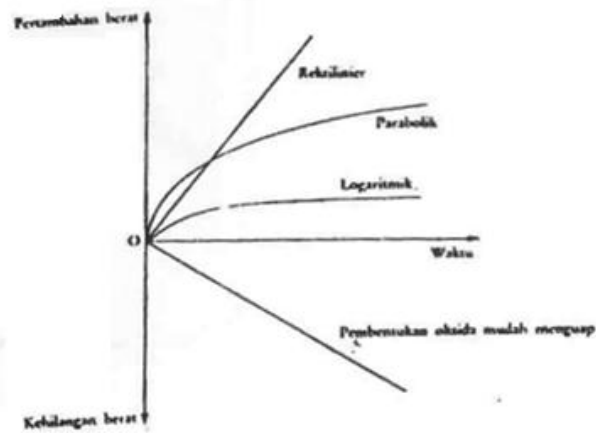
Gambar 1: Diagram fasa kesetimbangan biner Ti6Al-4V.⁽⁷⁾

Mekanisme Oksidasi

Oksidasi merupakan salah satu jenis proses korosi pada temperatur tinggi. Korosi temperatur tinggi berperan penting dalam setiap pemilihan bahan yang digunakan untuk konstruksi, mulai dari turbin gas sampai tungku pemanas. Jenis-jenis korosi temperatur tinggi yang biasanya menimbulkan masalah pada peralatan industri tersebut, di antaranya ialah⁽³⁾ . oksidasi, sulfidasi, karburasi, nitridisasi, korosi serangan halogen, korosi lelehan garam.

Reaksi oksidasi pada temperatur tinggi memiliki kesamaan mekanisme dengan korosi yang terjadi pada lingkungan basah (*wet corrosion*), di mana kedua proses tersebut dipengaruhi oleh proses elektrokimia. Namun proses tersebut tidak sederhana kombinasi kimiawi antara logam dan oksigen pada setiap molekul kerak.

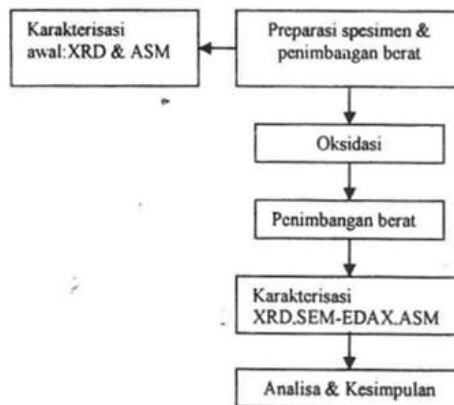
Gambar 2 menunjukkan pembentukan oksida yang mantap dan tidak mudah menguap, dapat menyebabkan penambahan berat linier, parabolik, atau logaritmik, sedangkan pertumbuhan oksida yang mudah menguap menyebabkan kehilangan berat yang linier terhadap waktu.



Gambar 2: Empat kaidah laju oksidasi⁽³⁾

III. Diagram Alir Metoda Penelitian

Metoda penelitian oksidasi paduan Ti6Al4V pada temperatur tinggi dapat dilihat pada gambar 3.1.



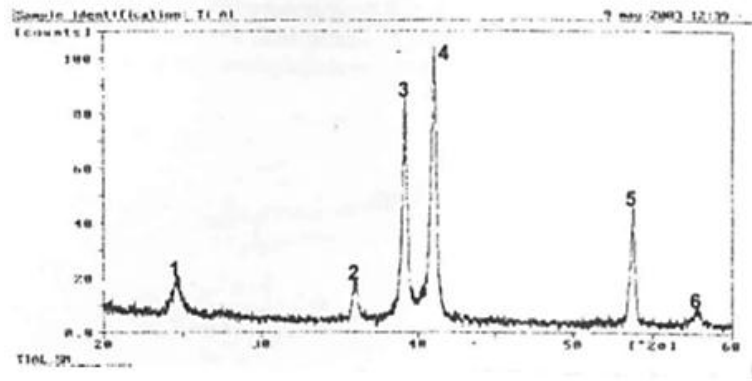
10 buah spesimen Ti6Al4V dengan dimensi 1 x 1 cm² dan tebal 2 mm dilakukan *grinding* untuk menghaluskan permukaan, dan *ultrasonic cleaning* untuk membersihkan kotoran pada spesimen dan selanjutnya dilakukan penimbangan berat spesimen. Setelah preparasi spesimen dan karakterisasi awal selesai, dilakukan proses oksidasi yaitu pemanasan pada variasi temperatur 950 °C, 1050 °C, 1150 °C dan waktu tahan masing-masing 1,4, dan 9 jam.

Pengujian dilakukan melalui difraksi sinar X untuk mengidentifikasi oksida yang terbentuk, analisa optik dan struktur mikro untuk mengetahui morfologi lapisan oksida pada permukaan, tebal lapisan oksida yang terbentuk dan SEM-EDAX untuk menghasilkan gambar yang lebih jelas dari penampang lintang dan komposisi kimia pada daerah tertentu.

IV. HASIL PENELITIAN

Data *X-Ray Diffraction (X-RD)*

Gambar 3 memperlihatkan hasil pengujian *x-ray diffraction* paduan Ti6Al4V. Enam buah puncak yang muncul pada pola difraksinya ditempati oleh TiO₂β (puncak 1), Al₂O₃-δ (puncak 2), V₃O₅ (puncak 3), V₂O₅-β (puncak 4), TiO₂ (puncak 5), Al₂O₃-α (puncak 6).



Gambar 3. Pola difraksi sinar X spesimen Ti6Al4V dan identifikasi puncak

Morfologi Permukaan

Pada gambar 4 dan 5 terlihat dua lapisan dan salah satunya menyerupai kerak (lebih gelap) dan pada permukaan lapisan bagian dasar terdapat lubang-lubang.



Gambar 4: Morfologi specimen T=950 °C T=9jam. 75x



Gambar 5: Morfologi specimen T=750 oC; t=9jam 15x

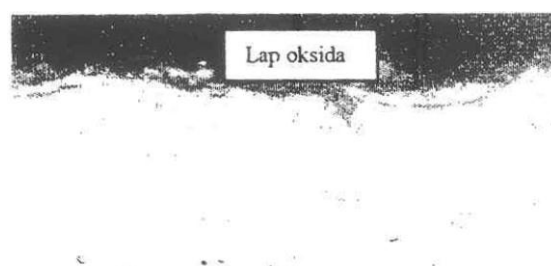
Gambar 4 memperlihatkan tiga kontur berbeda, pertama bentuk pegunungan, kedua bagian lembah, dan ketiga bagian dasar yang paling dalam. Sedangkan gambar 5 tampak dua lapisan permukaan yang berbeda, salah satunya adalah kerak dan lainnya adalah bagian matriks (bagian kerak yang telah terkelupas).

Analisa Struktur Mikro (ASM)

Gambar 6 dan 7 memperlihatkan struktur mikro penampang lintang paduan Ti6Al4V yang telah mengalami proses oksidasi. Bagian berwarna gelap pada bagian atas merupakan lapisan oksida. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa naiknya waktu pengoksidasian paduan Ti6Al4V akan memperbesar ukuran butir-butirnya.



Gambar 6: Struktur mikro spesimen Ti6Al4V teroksidasi (T=950°C, t=1jam). 300x

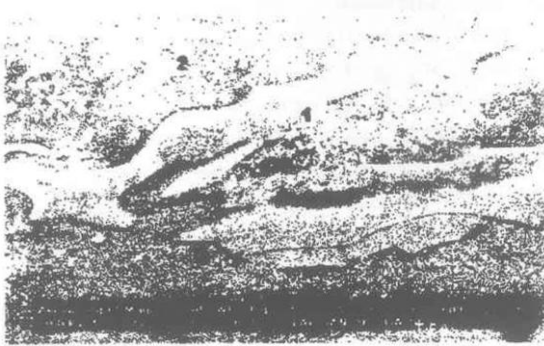


Gambar 7: Struktur mikro spesimen Ti6Al4V teroksidasi (T=1150°C, t=1 jam), 300x

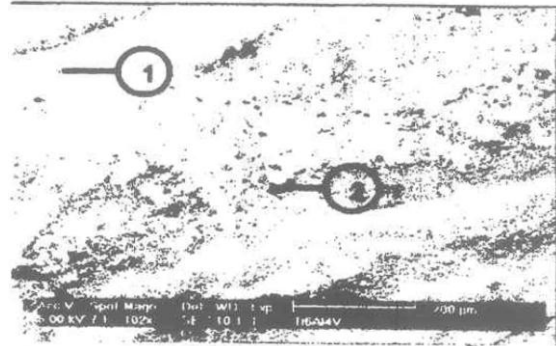
Struktur mikro spesimen yang teroksidasi dalam jangka waktu lebih lama, memiliki lapisan oksida lebih tebal dan ukuran butir lebih besar dibandingkan dengan spesimen yang teroksidasi dengan jangka waktu lebih singkat. Pembesaran ukuran butir tersebut sesuai dengan persamaan Hall-Petch. Sedangkan terbentuknya lapisan oksida yang lebih tebal disebabkan oleh rendahnya kemampuan lapisan oksida untuk mencegah masuknya oksigen yang dapat bereaksi dengan logam dasar membentuk lapisan oksida baru.

Scanning Electron Microscopy (SEM)-EDAX

Gambar 8 dan 9 hasil foto SEM paduan Ti6Al4V yang telah teroksidasi pada temperatur tinggi, dengan hasil analisa komposisinya pada tabel 1 dan 2.



Gambar 8: Morfologi permukaan spesimen (T=950°C; t=9jam. (pembesaran 51x)



Gambar 9: Morfologi permukaan spesimen T-950°C; t=9jam. (pembesaran 102x).

Tabel 1 : Komposisi Berat Unsur pada Permukaan Ti6Al4V yang Teroksidasi

Unsur (%)	1	2	3
Ti	20.91	37.47	48.26
Al	34.86	23.61	11.11
V	3.38	2.99	3.37
O	40.85	35.94	37.26

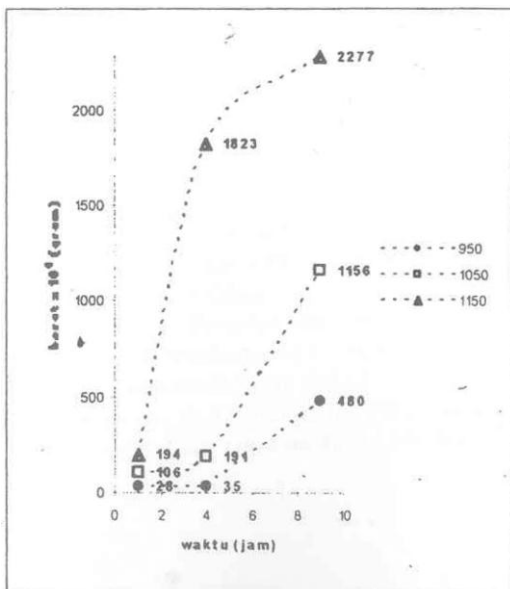
Tabel 2: Komposisi Berat Unsur pada Permukaan Ti6Al4V yang teroksidasi

Unsur (%)	1	2
Ti	-	47.18
Al	60.12	7.43
V	-	2.25
O	39.88	43.13

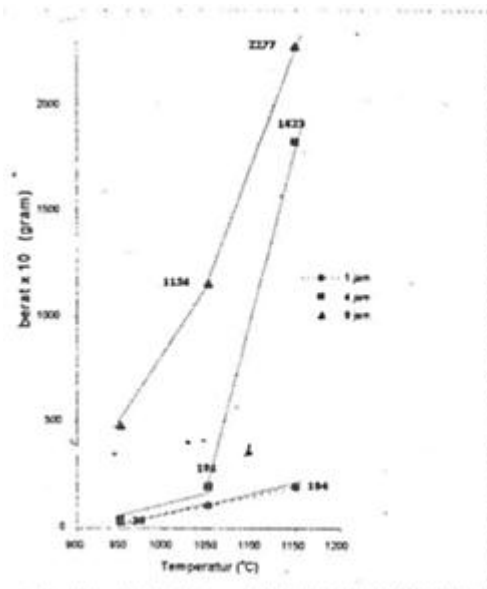
Gambar 8 menunjukkan daerah satu kaya akan Al. Sedangkan daerah dua dan tiga kaya akan Ti. Daerah tiga memiliki kandungan Ti lebih tinggi daripada daerah dua. Daerah tiga menunjukkan matriks Ti yang telah teroksidasi membentuk TiO. Pada daerah satu gambar 9 terlihat bahwa persentase Al dan O adalah 3:2. Analisa komposisi kimia dengan ED AX menunjukkan bahwa daerah satu merupakan daerah kaya akan Al_2O_3 . Dugaan ini dapat diperkuat dari hasil pola difraksi (gambar 3) yang menunjukkan terbentuknya senyawa Al_2O_3 . Pada daerah dua, komposisi unsumya kaya akan Ti, hal ini berarti oksida yang terbentuk lebih dominan sebagai TiO.

Kinetika

Data perubahan berat spesimen dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 4.26 dan 4.27.



Gambar 10: Penambahan berat vs waktu oksidasi



Gambar 11: Penambahan berat vs temp oksidasi

Gambar 10 memperlihatkan terjadi penambahan berat spesimen seiring dengan lamanya oksidasi. Terlihat pula pengaruh temperatur semakin tinggi menyebabkan perolehan berat semakin besar. Terdapat kesamaan karakteristik antara garis kurva temperatur 950 °C dengan garis kurva 1050 °C namun berbeda dengan garis temperatur 1150 °C yang memiliki bentuk parabolik. Gambar 11 menunjukkan semakin lama waktu oksidasi, semakin besar penambahan berat. Pada Ti6Al4V yang telah dioksidasi pada temperatur tinggi, terdapat kerak menyelubungi seluruh permukaannya. Jenis kerak yang terbentuk dipengaruhi oleh temperatur dan lamanya waktu oksidasi. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu oksidasi, semakin tebal kerak yang terbentuk. Kerak berlapis-lapis terbentuk akibat mengelupasnya kerak paling luar, kemudian permukaan dibawahnya akan membentuk lapisan oksida baru. Bila proses ini terus berjalan seiring dengan bertambahnya waktu pengoksidasian maka semakin banyak pula lapisan kerak terbentuk.

Faktor yang mempengaruhi mengelupasnya kerak, antara lain rendahnya daya rekat kerak pada logam dasarnya dan harga koefisien ekspansi termal (CET), bila harga CET kerak lebih tinggi daripada harga CET logam dasar maka lapisan kerak cenderung membengkak dan kemudian pecah. Gambar 10 dan 11 menunjukkan peningkatan temperatur dan lamanya waktu pengoksidasian menyebabkan semakin besarnya penambahan berat spesimen. Hal ini disebabkan lapisan oksida yang terbentuk tidak mampu merintangai masuknya oksigen ke permukaan logam, sehingga terbentuk lapisan oksida baru pada permukaan logam akibatnya lapisan oksida akan semakin tebal dan terjadi penambahan berat pada paduan Ti6Al4V yang teroksidasi. Temperatur juga berpengaruh terhadap laju masuknya oksigen untuk menembus lapisan oksida. Temperatur yang tinggi akan memperbesar ukuran butir sehingga oksigen akan lebih mudah menyusup di antara batas butir. Analisa ini didukung oleh hasil pengamatan struktur mikro yang memperlihatkan bahwa terdapat lapisan oksida baru di atas permukaan logam dan bertambahnya tebal lapisan oksida.

KESIMPULAN

1. Oksidasi paduan Ti6Al4V pada temperatur tinggi menghasilkan lapisan oksida TiO, TiO₂, Al₂O₃, V₂O₅, dan V₃O₅
2. Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan paduan Ti6Al4V yang dioksidasi pada temperatur tinggi dengan waktu lama cenderung terkelupas dan retak.
3. Semakin tinggi temperatur oksidasi, semakin besar penambahan berat. Penambahan berat maksimum adalah 2277×10^{-4} gram pada temperatur 1150°C dengan waktu oksidasi 9 jam.
4. Temperatur yang tinggi dan lamanya waktu oksidasi akan memperbesar ukuran butir paduan Ti6Al4V.
5. Temperatur yang tinggi dan lamanya waktu oksidasi akan membentuk lapisan oksida semakin tebal dan ukuran butir semakin besar. Kondisi maksimum tercapai pada temperatur 1150°C dengan waktu 9 jam.

DAFTAR PUSTAKA

1. American Society for Metal, 1972 "Metal Handbook" volume 2, Metals Park, Ohio.
2. Durban, L., Ardjo, Ir, MSc., Rizal Cahaya Astrawinata, Ir., 1977, *Thermodinamika Metallurgi*, Departemen Tambang Institut Teknologi Bandung,.
3. Fontana, M.g., Green, M D, 1978 *Corrosion Engineering*, New York, McGrawHill.
4. George, Y., Lai, 1990, *High Temperature Corrosion of Engineering Alloys*, ASM International Metals, Park Ohio,.
5. James, D, Destefani, *Introduction to Titanium and Titanium Alloys*, Bayley Controls Company.
6. Kestner-Weykamp, H.T, 1989 *Microstructures and phase Relationship in the Ti₃Al + Nb System*, *Scripta Metallurgica*, Vol 23.
7. Matthew, J., Donachie, Jr., 1982, The Hartford Graduate Center, American Society for Metals, *Titanium and Titanium Alloys*, Metal Park, Ohio.