

ANALISA KERUSAKAN PADA TURBINE BUCKET YANG TERBUAT DARI MATERIAL NICKEL BASE ALLOY MAR-M-246

Leni Juwita*, Mabe Siahaan**, Yayan Herdayana Sulung Tenggara*

*Jurusan Teknik Metalurgi UNJANI

**Peneliti LAPAN

ABSTRAK

Dari hasil pemeriksaan metalurgis terhadap turbine bucket nomor 120 dari stage 1 terlihat bahwa benda tersebut telah mengalami oksidasi dan hot corrosion, selain itu bucket tersebut telah mengalami deformasi / distorsi yang memperlihatkan indikasi adanya fenomena creep. Pemeriksaan dengan EDAX memperlihatkan bahwa material bucket adalah MAR-M-246, Cast Nickel Base Superalloys.

Pemeriksaan dengan EDAX menunjukkan bahwa bucket telah mengalami perbaikan dua kali dengan menggunakan coating masing-masing AlNi, ZrO dan adanya indikasi coating dengan menggunakan Platiniun (PtAl₂). Pemeriksaan metalografis memperlihatkan adanya fasa sigma (CrCo) berbentuk plate / jarum, yang sangat getas dengan indikasi adanya peningkatan nilai kekerasan.

Telah terjadi kerusakan coating yang mengakibatkan teroksidasinya karbida / dan terjadi reaksi sulfida masing-masing pada batas butir yang menyebabkan timbulnya micro-crack. Hal ini tersebut menunjukkan bahwa turbine bucket telah terekspose panas dengan temperatur sekitar 570-1093 °C.

Akibat mekanisme kerusakan yang terjadi, maka turbine bucket tersebut memiliki kehandalan yang sangat rendah. Untuk mengembalikan pada kondisi semula perlu dilakukan reparasi dengan welding (rebuilding) yang dilanjutkan dengan proses heat treatment untuk menurunkan tegangan sisa hasil welding sekaligus mengembalikan sifat mekanik kepada kondisi semula sesuai disain.

PENDAHULUAN

Dalam peningkatan kualitas sesuai kebutuhan, suatu material selalu mengalami perubahan dan perbaikan. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya tuntutan kebutuhan teknologi. Untuk memenuhi kebutuhan yang semakin tinggi persyaratan kerja maka material superalloys sebagai pilihan yang sesuai.

Sekarang ini telah banyak ditemukan berbagai macam trade marks

dari superalloys. Salah satu contohnya adalah jenis MAR-M, yang mana jenis ini merupakan hasil dari Trade Marks of Martin Marietta Corporation.

Salah satu contoh aplikasi material superalloys adalah : Turbine bucket, Combustion Cans, turbin disks (Wheels), Vanes dan komponen mesin turbin lainnya.

Dalam penelitian ini hanya disajikan material Superalloys jenis Nickel base

Superalloys, tipe MAR-M-246. Material ini biasa dipakai pada turbine bucket, karena MAR-M-246 memiliki sifat tahan aus, tetap stabil pada temperatur relatif tinggi, dan mempunyai kuat tarik yang bagus pula.

Latar Belakang Masalah

Penelitian terhadap material MAR-M-246, berawal dari timbulnya kerusakan / kegagalan suatu komponen turbin gas. Komponen yang mengalami kerusakan tersebut adalah turbine bucket.

Menurut informasi dari pemakai turbin gas ini memiliki kekuatan (power) 22 MW, dengan kecepatan putaran (speed) 5100 rpm (design), dan temperatur operasi pada thermocouple adalah 1150 °C, dimana temperatur masuknya 567 °C serta tekanan (pressure) sebesar 12 bar. Sedangkan kerusakan turbine bucket terjadi setelah komponen ini beroperasi 7000 jam, dimana sebelumnya komponen ini telah diperbaiki sebanyak dua kali.

Pengamatan turbine bucket ini dikonsentrasikan pada bucket nomor 120 dalam stage I, dasar pertimbangan pengambilan lokasi pengamatan ini, karena pada bucket ini kerusakan paling parah, sehingga pengambilan contoh (sample) pada lokasi ini cukuplah memenuhi persyaratan analisa kerusakan (failure analysis).

Disamping itu pula, ada suatu alasan yang mendasari yakni : bucket yang diidentifikasi tidak diperbolehkan dilakukan pengujian yang sifatnya merusak, karena bucket tersebut akan diperbaiki (repaired) dan digunakan lagi. Sehingga semua pengujian termasuk uji komposisi kimia, uji kekerasan (Hv), struktur mikro tidak boleh bersifat merusak, kecuali pada ujung bucket (bucket tip) sejauh 3 mm, yang mana daerah ini mengalami kerusakan yang paling parah.

Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui sejauh mana kerusakan yang dialami oleh bucket.
2. Mempelajari rekomendasi (saran) berkenaan dengan pembaharuan (refurbishment), perbaikan (repair), ataupun penggantian (replacement).

Batasan Masalah dan Ruang Lingkup Evaluasi

Penelitian ini mempunyai batasan, sehubungan dengan bucket yang diidentifikasi tidak diperbolehkan dilakukan pengujian yang sifatnya merusak, termasuk uji komposisi kimia, uji kekerasan (Hv), struktur mikro, kecuali pada daerah dibagian ujung bucket (bucket tip) sejauh 3 mm, hal ini diizinkan karena daerah ini mengalami kerusakan paling parah.

Dengan adanya keterbatasan ini maka, sangatlah berpengaruh terhadap analisa metalurgi, terutama menyangkut umur sisa yang dikaitkan dengan fenomena metalurgi yang terjadi pada lokasi turbine bucket.

Faktor lain adalah sulitnya mendeteksi komposisi kimia, karena dimensi contoh (sample) yang diberikan relatif kecil, sehingga haruslah diperiksa oleh EDAX (Energy Dispersive Analysis X-ray).

Berkaitan dengan hal tersebut, maka dalam proses pengamatan dan pengujian dilakukan langkah sebagai berikut :

1. Melakukan pengamatan Visual, dengan memakai kamera optik.
2. Melakukan pengujian komposisi kimia pada bagian bucket tip oleh EDAX.
3. Memeriksa komposisi lapisan (coating), komposisi karbida, dan komposisi presipitat oleh EDAX guna menentukan sifat fisik dan sifat mekanik material

yang dikaitkan dengan mekanisme kerusakan yang terjadi.

4. Melakukan uji kekerasan (Hv) pada bucket tip.

METODA PENELITIAN

Pada bagian ini menjelaskan tentang urutan-urutan dari proses penelitian. Hal ini dimaksudkan agar komponen yang diidentifikasi dapat diketahui pokok permasalahannya secara sistematis dan jelas.

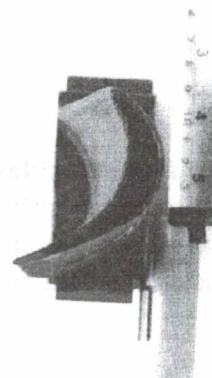
Dibawah ini skema proses penelitian yang dilakukan :

DATA DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan secara visual

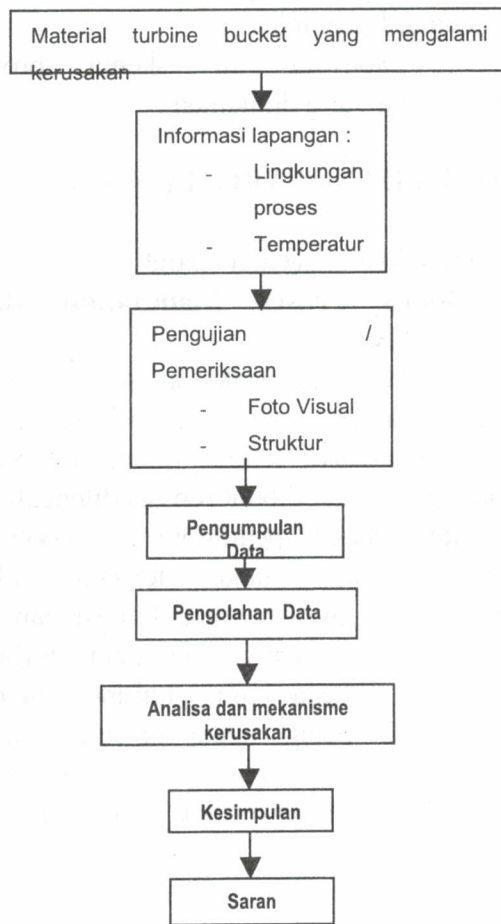
Indikasi Proses Manufaktur dari Turbin Bucket

Hasil pemeriksaan secara visual seperti tampak pada gambar di bawah ini tampak adanya rongga ditengah turbine bucket. Tujuan dibuat rongga ditengah ini adalah sebagai pendingin (air cooling) agar turbine bucket tersebut tidak mengalami over heating. Fungsi lainnya yaitu untuk mengurangi berat turbine bucket, karena bila turbine bucket berbentuk pejal, maka turbine bucket tersebut akan lebih berat sehingga memiliki gaya sentrifugal yang jauh lebih tinggi.



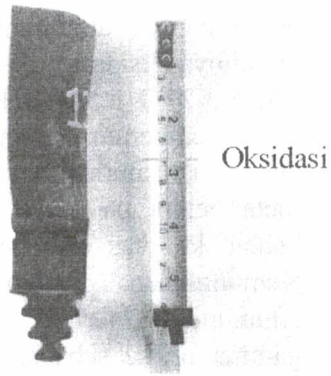
Gambar Rongga dalam Turbin

Karena adanya rongga di turbine bucket tersebut, hal ini memberikan indikasi bahwa pembuatannya dilakukan dengan menggunakan proses investment casting dengan sistim coring. Sebab jika pembuatannya menggunakan proses forging, maka untuk membuat rongga akan sangat sulit, karena ketipisan dan kemiringan bentuk sangat rumit . Informasi proses pembuatan akan membantu dalam menentukan komposisi kimia pada bucket apakah termasuk keluarga wrought alloy atau cast alloy



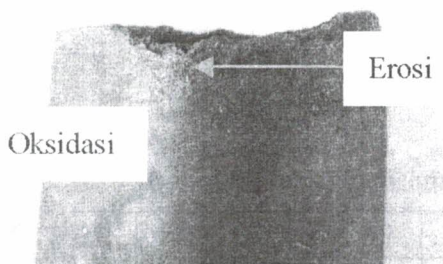
Indikasi Terjadi Oksidasi dan Erosi

Dari gambar terlihat indikasi adanya oksidasi diseluruh permukaan turbine bucket. Hal ini terlihat sangat jelas yang ditandai dengan warna coklat hitam akibat turbine bucket tersebut beroperasi pada temperatur tinggi ($T > 567\text{ }^{\circ}\text{C}$).

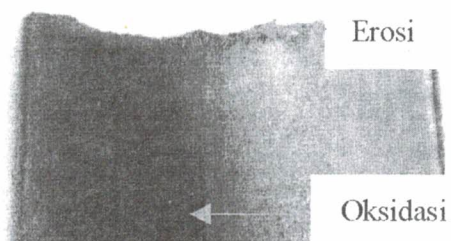


Gambar Terlihat oksidasi diseluruh permukaan

Pada gambar dibawah terlihat bagaimana coating teroksidasi akibat beroperasi pada temperatur tinggi, hal ini bila terjadi terus menerus dengan waktu yang lama akan mengakibatkan menipisnya coating yang selanjutnya akan menyebabkan beroperasinya mekanisme kerusakan lainnya seperti terjadi oksidasi dan erosi pada logam induk (base metal) melalui batas butir.

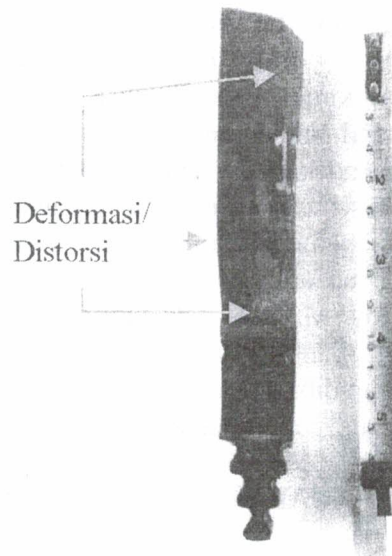


Gambar Bagian yang terjadi oksidasi & erosi



Indikasi Terjadinya Creep atau Deformasi Plastik

Hasil pengamatan visual, menunjukkan adanya fenomena creep dibagian concave dan convex turbine bucket, akibat beroperasi pada temperatur tinggi dan tegangan akibat gaya sentrifugal yang bergerak secara terus menerus dalam waktu yang lama.



Gambar Tampak terjadinya Deformasi

Creep menyebabkan turbine bucket terdeformasi atau terdistorsi menyimpang dari kondisi awal (original material geometri).

Indikasi Terjadinya Korosi Temperatur Tinggi (Hot Corrosion)

Dari gambar dibawah ini nampak terjadinya korosi temperatur tinggi (hot corrosion) diujung turbine bucket. Hal ini terjadi karena turbine bucket tersebut beroperasi pada temperatur tinggi yang mengakibatkan lapisan coating terbakar dan habis, yang akhirnya base metal pun mengalami hot corrosion. Terlihat pengelupasan material setebal 2-3 mm akibat korosi ini (hot corrosion)

Pemeriksaan komposisi kimia, kekerasan dan struktur mikro
Pemeriksaan Komposisi Kimia Logam dasar (Base Metal)

Hasil pemeriksaan komposisi kimia base metal menggunakan X-Ray Energy Dispersion Analysis (EDAX). Pertimbangan penggunaan EDAX dilakukan karena pada benda uji disyaratkan tidak boleh dilakukan uji merusak, dan terbatasnya benda uji (spesimen). Bila hasil pemeriksaan komposisi kimia dibandingkan dengan Nickel Brand Name, maka material bucket tersebut mendekati ke jenis MAR-M-246⁽¹¹⁾. Karena semua unsur yang terkandung dari hasil pemeriksaan masuk kepada spesifikasi unsur-unsur yang terkandung pada alloy MAR-M-246 kecuali unsur Aluminium yang agak menyimpang. Hal tersebut akan dibahas berikut ini.

Unsur aluminium dari hasil pemeriksaan lebih kecil dibanding dengan MAR-M-246, kemungkinan

berkurangnya aluminium tersebut akibat terjadinya oksidasi

$2Al + 3/2 O_2 \rightarrow Al_2O_3$. Hal ini terjadi pada temperatur tinggi, dimana awal keberadaan aluminium terletak pada base metal tetapi pada saat oksidasi berdifusi keluar ke atas membentuk Al_2O_3 ⁽¹¹⁾. Kemungkinan lainnya adalah unsur Aluminium terikat membentuk fasa gamma prime sebagai presipitat penguat. Untuk unsur karbon di material MAR-M-246 kandungan karbonnya 0,15 %, namun dari hasil pengujian EDAX unsur karbon tidak terdeteksi. Hal ini terjadi karena spektrum energi atom karbon diluar range detektor X-Ray sehingga unsur tersebut tidak muncul. Unsur-unsur Mo, Cr, Co, Ta dan W bereaksi dengan karbon membentuk fasa-fasa karbida yang berfungsi meningkatkan kekuatan dan ketahanan panas⁽¹⁾. Untuk unsur krom dan aluminium berfungsi untuk perlindungan permukaan membentuk lapisan pasive Cr_2O_3 dan Al_2O_3 ⁽²⁾.

Tabel Hasil Pemeriksaan Komposisi Kimia (% mass)

| Unsur | Cr | Co | Ti | Mo | Si | Al | Co | Ta | Fe | Mn | W | Ni |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-------|-------|
| Bucket Hasil Pemeriksaan | 9.76 | 8.47 | 2.12 | 2.44 | 0.16 | 1.52 | 8.47 | 0 | 1.93 | 0.76 | 10.89 | 61.94 |
| MAR-M-246 | 9.00 | 10.0 | 1.5 | 2.5 | - | 5.5 | 10.0 | 1.5 | - | - | 10 | 60 |

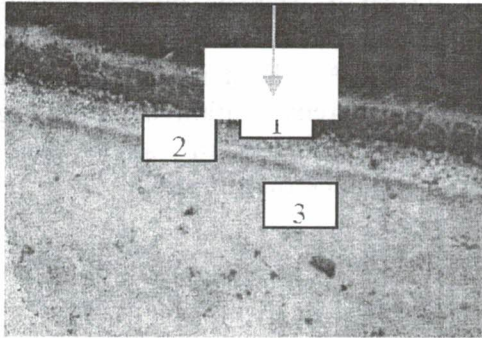
Lapisan (Coating)

Pengujian dengan menggunakan EDAX untuk mengidentifikasi jenis coating menunjukkan bahwa coating pada turbine bucket adalah β -NiAl. Gambar memperlihatkan penampakan coating pada

turbine bucket dan profile coating menuju base metal.

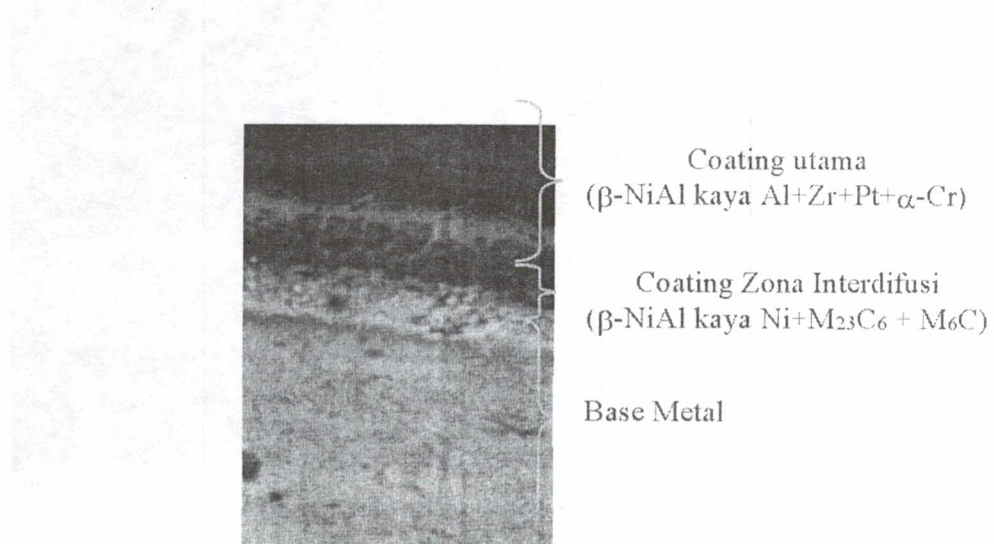
Lapisan (Coating)

Pengujian dengan menggunakan EDAX untuk mengidentifikasi jenis coating menunjukkan bahwa coating pada turbine bucket adalah β -NiAl. Gambar memperlihatkan penampakan coating pada turbine bucket dan profile coating menuju base metal.



Gambar Penampakan Coating pada Turbine bucket

Dengan melihat coating β -NiAl ini, maka pada permukaan bagian luar akan terbentuk lapisan oksida Al_2O_3 yang merupakan lapisan yang sangat protektif namun rentan terhadap spalling akibat siklus termal. Namun demikian pada pemeriksaan komposisi kimia terdapat unsur Zr yang menunjukkan adanya kemungkinan bucket pernah mengalami pelapisan dengan Zirconium Oksida. Pada pengujian juga muncul platinum (Pt) dan Silicon (Si) yang ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan coating aluminide terhadap degradasi pada temperatur tinggi. Ditemukannya unsur sulfur (S) dan chloride (Cl) mengindikasikan adanya produk hot corrosion, atau disebut juga dengan sulfidation, pada zona coating.



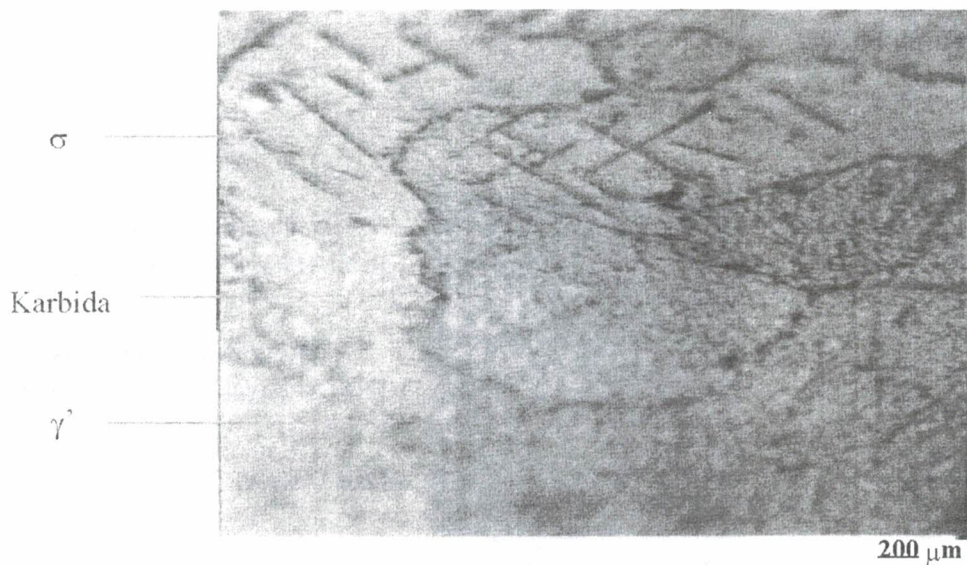
Gambar Profile Coating Menuju Base Metal pada Turbine Bucket

Pemeriksaan Struktur Mikro Struktur Mikro Base Metal

Struktur mikro base metal sudu turbin memperlihatkan tipikal struktur mikro pada nickel-base superalloy yang sudah terekpos pada temperatur tinggi dengan waktu lama. Pada gambar tersebut terlihat fasa γ' pada butiran, karbida pada batas butir dan fasa sigma yang berbentuk jarum (plate). Fasa γ' adalah presipitat berbentuk sferoidal yang merupakan senyawa intermetalik Ni_3Al dengan Ti dan berbagai unsur terlarut lainnya. Selama operasi fasa ini dapat membentuk lapisan pada batas butir disekeliling karbida. Karbida pada batas butir merupakan fasa

yang keras dan merupakan senyawa $Cr_{23}C_6$ (1)

Pada gambar terlihat juga adanya fasa σ yang berbentuk pelat memanjang. Berdasarkan hasil penembakan setempat pada fasa tersebut, diketahui bahwa fasa σ tersebut merupakan senyawa $CrCo$. Fasa ini terbentuk setelah bucket mengalami pemaparan pada selang temperatur antara $540 - 980$ °C. Fasa ini tidak diharapkan muncul karena sifatnya yang getas, sehingga menurunkan sifat ulet dan memperpendek rupture life.



Gambar Struktur Mikro Nickel Base superalloys

Struktur mikro lapisan (Coating)

Dari gambar terlihat dengan sangat jelas bahwa turbine bucket terdiri dari coating utama, zona interdifusi dan base metal. Berdasarkan pengujian untuk Nickel-based superalloy ini jenis coatingnya adalah aluminide. Coating tersebut berfungsi sebagai pelindung terhadap oksidasi dan hot corrosion. Sedangkan lapisan kedua

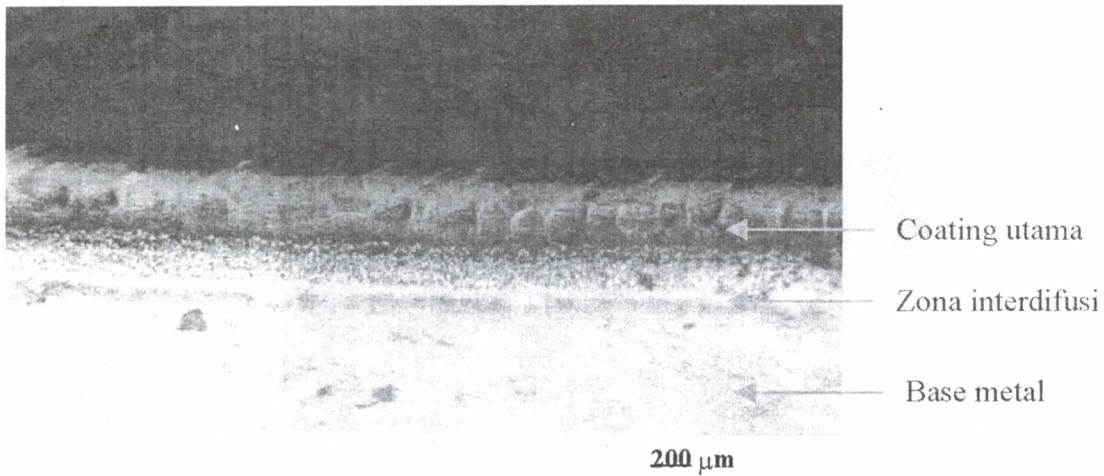
yaitu interdifusi aluminide dengan base metal.

Gambar menunjukkan Intergranular attack pada batas butir yang pada akhirnya micro crack ini dapat menjalar dan menghasilkan instabilitas di batas butir sehingga menyebabkan meningkatnya kemungkinan kegagalan komponen. Hal ini terjadi akibat oksidasi yang terus-menerus. Gambar

memperlihatkan terjadinya oksidasi yang menyerang permukaan serta karbida pada batas butir akibat rusaknya coating. Penampakan lain adalah adanya produk hot corrosion (sulfida) sebagaimana diperlihatkan pada gambar hal ini dibuktikan dari hasil penembakan EDAX pada titik tersebut, dimana ditemukan 36,53 % unsur sulfur (S).

Pemeriksaan Kekerasan / Uji Mekanik Material

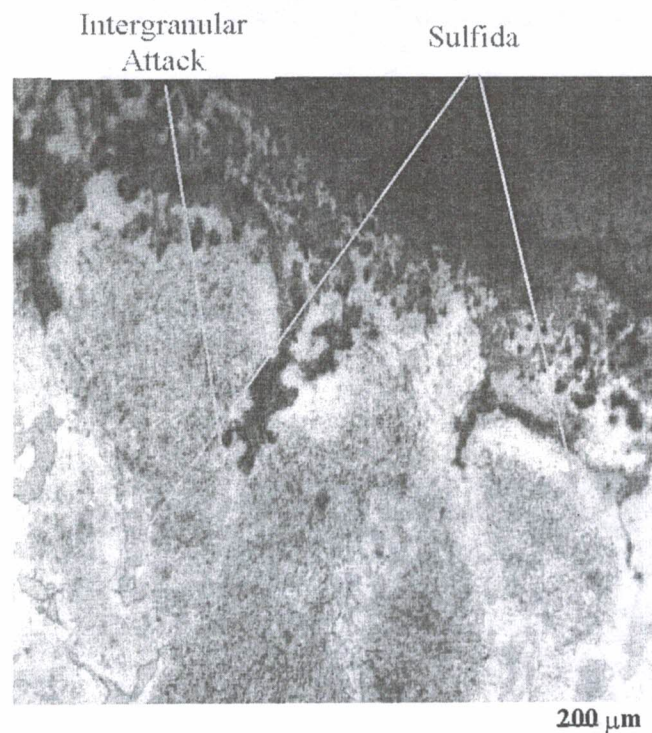
Pada Tabel dibawah, ditampilkan harga dari kekerasan bucket tip sebagai berikut.



Gambar Intergranular Attack

Tabel Harga kekerasan (Hv)

| Lokasi Pengujian | Nilai kekerasan (Hv) | | |
|------------------|----------------------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| A | 447 | 441 | 441 |
| B | 447 | 400 | 435 |



Dari hasil microhardness testing dengan Vickers dari tiga titik pengujian secara in-situ, ditemukan nilai kekerasan pada bucket tip adalah, rata-rata 440 HV (atau ekuivalen dengan 420 BHN). Jadi kekerasan tersebut menunjukkan kondisi

material yang telah beroperasi selama 7000 jam. Sedangkan data sifat mekanik kondisi awal tidak didapatkan, sehingga untuk data uji tarik material awal hanya berorientasi kepada data empirik (literatur). Hal ini dikarenakan tidak memungkinkan

dilakukan pengujian, maka informasi dapat diambil secara empirik bahwa untuk MAR-

M-246 pada suhu 25 C kekuatan tariknya adalah 140 Ksi atau equivalent dengan kekerasan Vickers 290 atau 220 BHN-lihat lampiran. Dari data diatas terlihat pada spot tersebut (bucket tip) ada peningkatan nilai kekerasan setelah 7000 jam beroperasi. Kemungkinan hal ini ada hubungannya dengan terbentuknya fasa sigma yang dapat menyebabkan penggetasan (embrittlement) pada material, kekuatan meningkat (σ_{UTS} , σ_{YS} , BHN) tetapi keuletan turun (e %). Implikasi hal tersebut terhadap kehandalan (performance) turbine bucket akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

Mekanisme kerusakan dan kehandalan (performance) bucket

Mekanisme Kerusakan Turbine Bucket

Pada saat beroperasi turbine bucket mengalami suhu tinggi dan gaya sentrifugal yang tinggi melebihi komponen lainnya dalam turbin gas. Oleh sebab itu secara alamiah mereka memiliki umur pakai adanya berbagai mekanisme kerusakan yang beroperasi terjadi pada kondisi seperti itu.

Pada dasarnya terdapat tiga kategori jenis kerusakan pada turbine bucket, yakni ^(1,10):

1. Akibat aspek lingkungan : oksidasi dan korosi suhu tinggi
2. Akibat aspek mekanik : mulur (creep), thermal fatigue, interaksi fatigue-creep, thermal shock, dan sebagainya.
3. Akibat instabilitas metalurgis : pengkasaran / coarsening fasa γ , pembentukan fasa sigma (σ) pengkasaran / pembentukan karbida $M_{23}C_6$ dan MC pada batas butir, incipient melting, serta pembentukan fasa-fasa lainnya yang lebih stabil.

Kerusakan Akibat Faktor Lingkungan

Pada sample as received (as-coated), lapisan coating adalah NiAl. Akibat pemaparan pada temperatur tinggi yang oksidatif maka terbentuklah lapisan diatas NiAl yaitu Al_2O_3 . Hal tersebut merupakan hasil reaksi antara oksigen dan Alumunium pada coating. Selanjutnya pada siklus termal lapisan terluar ini dapat mengalami spalling sehingga dibeberapa bagian terlihat terkelupas. Di sisi lain di daerah yang terkelupas dapat mengalami kekurangan Alumunium yang mengakibatkan terjadinya reaksi antara oksigen dengan nickel dan chrome yang menghasilkan lapisan NiO dan Cr_2O_3 disusul dengan pembentukan fasa γ dan γ' dibawah NiO dan Cr_2O_3 (bentuknya seperti pulau yang memanjang menuju kearah bawah). Dari sinilah kemudian oksidasi menyerang kearah (intergranular attack). Akibat adanya kerusakan coating tersebut terjadilah serangan atau penetrasi pada batas butir grain boundary merupakan daerah dengan energi tinggi (kurang stabil) dibandingkan dengan matrix. Jika pada saat yang bersamaan terdapat tegangan yang bekerja maka retak akan menjalar dengan lebih cepat.

Berdasarkan pengamatan mikroskopik dan pengujian komposisi kimia, terbukti turbine bucket telah mengalami hot corrosion. Kerusakan akibat hot corrosion ini memiliki tingkat yang lebih parah dibandingkan oksidasi dan menyerang pada daerah setempat. Lapisan oksida yang protektif dan rusak pada lingkungan korosif yang berasal dari bahan bakar dan udara bakar. Bahan bakar yang mengandung sulfur dengan alkali dapat membentuk sulfat atau sulfur oksida dan membentuk deposit di permukaan bucket. Fenomena ini merupakan proses oksidasi yang dipercepat yang terjadi ketika lapisan

dilakukan pengujian, maka informasi dapat diambil secara empirik bahwa untuk MAR-

M-246 pada suhu 25 C kekuatan tariknya adalah 140 Ksi atau equivalent dengan kekerasan Vickers 290 atau 220 BHN-lihat lampiran. Dari data diatas terlihat pada spot tersebut (bucket tip) ada peningkatan nilai kekerasan setelah 7000 jam beroperasi. Kemungkinan hal ini ada hubungannya dengan terbentuknya fasa sigma yang dapat menyebabkan penggetasan (embrittlement) pada material, kekuatan meningkat (σ_{UTS} , σ_{YS} , BHN) tetapi keuletan turun (ϵ %). Implikasi hal tersebut terhadap kehandalan (performance) turbine bucket akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

Mekanisme kerusakan dan kehandalan (performance) bucket

Mekanisme Kerusakan Turbine Bucket

Pada saat beroperasi turbine bucket mengalami suhu tinggi dan gaya sentrifugal yang tinggi melebihi komponen lainnya dalam turbin gas. Oleh sebab itu secara alamiah mereka memiliki umur pakai adanya berbagai mekanisme kerusakan yang beroperasi terjadi pada kondisi seperti itu.

Pada dasarnya terdapat tiga kategori jenis kerusakan pada turbine bucket, yakni ^(1,11):

1. Akibat aspek lingkungan : oksidasi dan korosi suhu tinggi
2. Akibat aspek mekanik : mulur (creep), thermal fatigue, interaksi fatigue-creep, thermal shock, dan sebagainya.
3. Akibat instabilitas metalurgis : pengkasaran / coarsening fasa σ , pembentukan fasa sigma (σ) pengkasaran / pembentukan karbida $M_{23}C_6$ dan MC pada batas butir, incipient melting, serta pembentukan fasa-fasa lainnya yang lebih stabil.

Kerusakan Akibat Faktor Lingkungan

Pada sample as received (as-coated), lapisan coating adalah NiAl. Akibat pemaparan pada temperatur tinggi yang oksidatif maka terbentuklah lapisan diatas NiAl yaitu Al_2O_3 . Hal tersebut merupakan hasil reaksi antara oksigen dan Aluminium pada coating. Selanjutnya pada siklus termal lapisan terluar ini dapat mengalami spalling sehingga dibeberapa bagian terlihat terkelupas. Di sisi lain di daerah yang terkelupas dapat mengalami kekurangan Aluminium yang mengakibatkan terjadinya reaksi antara oksigen dengan nickel dan chrome yang menghasilkan lapisan NiO dan Cr_2O_3 disusul dengan pembentukan fasa δ dibawah NiO dan Cr_2O_3 (bentuknya seperti pulau yang memanjang menuju kearah bawah). Dari sinilah kemudian oksidasi menyerang kearah (intergranular attack). Akibat adanya kerusakan coating tersebut terjadilah serangan atau penetrasi pada batas butir grain boundary merupakan daerah dengan energi tinggi (kurang stabil) dibandingkan dengan matrix. Jika pada saat yang bersamaan terdapat tegangan yang bekerja maka retak akan menjalar dengan lebih cepat.

Berdasarkan pengamatan mikroskopik dan pengujian komposisi kimia, terbukti turbine bucket telah mengalami hot corrosion. Kerusakan akibat hot corrosion ini memiliki tingkat yang lebih parah dibandingkan oksidasi dan menyerang pada daerah setempat. Lapisan oksida yang protektif dan rusak pada lingkungan korosif yang berasal dari bahan bakar dan udara bakar. Bahan bakar yang mengandung sulfur dengan alkali dapat membentuk sulfat atau sulfur oksida dan membentuk deposit di permukaan bucket. Fenomena ini merupakan proses oksidasi yang dipercepat yang terjadi ketika lapisan scale oksida protektif terdegradasi atau

creep adalah fenomena batas butir. Selanjutnya dari micrograph tidak terlihat adanya indikasi incipient melting (pelelehan setempat pada batas butir).

Semua perubahan metalurgi yang terjadi diatas akibat hukum termodinamika yakni pada suhu tertentu dan waktu yang cukup lama fasa-fasa yang hadir cenderung berubah menjadi sesuatu fasa yang lebih stabil. Untuk mengembalikan kepada kondisi semula (ukuran, morfologi, dan distribusinya), maka pada material tersebut harus dilakukan heat treatment, yakni : solution heat treatment dan precipitation aging / hardening .

Kehandalan Turbine Bucket

Performance bucket sangat ditentukan oleh laju kerusakan yang terjadi yang pada akhirnya menentukan umur sisa dari bucket tersebut. Tidak seperti komponen stasionary (vane / nozzles) dimana umur pakainya dikendalikan oleh perambatan retak (crack growth), komponen rotasi seperti blade / bucket umur pakainya dikendalikan oleh inisiasi retak (crack initiation). Ini artinya, jika ditemukan inisiasi retak baik akibat korosi / oksidasi, ataupun akibat fatigue dan creep, maka bucket harus segera direfurbish / direparasi.

Adanya lingkungan yang korosif (hot corrosion) menyebabkan proses oksidasi dipercepat sehingga lapisan oksidasi protektif tidak mampu terbentuk kembali. Kondisi ini tentunya mempercepat kegagalan turbine bucket sejalan dengan pemaparan selama operasi turbine. Dengan kombinasi antara temperatur tinggi dan lingkungan yang korosif, turbine bucket akan mengalami kerusakan yang parah pada daerah korosi setempat dan kehilangan berat.

Tanpa adanya informasi tentang creep voids development pada batas butir, kurva standard dari creep rupture, sifat

fatigue pada material MAR-M-246 (baik data original maupun setelah beroperasi selama 7000 jam) sangat sukar, atau kalau boleh mengatakan tidak mungkin, untuk menentukan secara presisi umur sisa dari bucket tersebut. Namun dari analisa retakan dapat diharapkan bahwa retak akibat korosi / oksidasi dapat menjalar dalam waktu yang relatif cepat. Dengan kata lain bucket memiliki kehandalan yang rendah atau memiliki resiko yang tinggi untuk gagal / fail.

Untuk meningkatkan performance pada saat operasi nanti, maka bucket harus sedemikian rupa di repair dengan mengacu pada prosedur teknis standard. Seperti antara lain; pada saat melakukan pengelasan filter material yang digunakan harus memiliki komposisi kimia sedekat mungkin dengan paduan MAR-M-246.

Sifat mekanik yang diperoleh melalui uji kekerasan memberikan indikasi telah terjadi pengerasan dan kemungkinan besar penggetasan (sekurang-kurangnya pada spot / daerah material yang ditest). Hal tersebut bisa jadi mewakili sifat mekanik dari seluruh bucket, namun bisa saja sifat mekanik dari satu lokasi ke lokasi lain pada bucket tersebut berbeda secara signifikan akibat adanya thermal gradien. Terlepas dari semua itu, setelah proses welding pada bucket perlu dilakukan proses heat treatment. Tujuan dari heat treatment ini, diantaranya, adalah untuk :

1. Menurunkan tegangan sisa yang mungkin hadir akibat proses welding.
2. Mengembalikan fasa yang terbentuk kembali berdifusi kedalam matriks gamma membentuk solid solution strengthening.
3. Menghilangkan fasa sigma yang memiliki sifat merugikan.
4. Menutup microvoids yang mungkin hadir pada butir (hal ini dilakukan

dengan teknik Hot Isostatic Pressing / HIP).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pemeriksaan metalurgis terhadap turbine bucket nomor 120 dari stage 1 memperlihatkan bahwa benda tersebut telah mengalami oksidasi dan hot corrosion, selain itu bucket tersebut telah mengalami deformasi / distorsi yang memperlihatkan indikasi adanya fenomena creep.
2. Pemeriksaan dengan EDAX memperlihatkan bahwa material bucket adalah MAR-M-246, Cast Nickel Base Superalloy.
3. Pemeriksaan dengan EDAX menunjukkan bahwa bucket telah mengalami perbaikan dua kali dengan menggunakan coating masing-masing AlNi, ZrO dan adanya indikasi coating dengan menggunakan platinumium ($PtAl_2$).
4. Pemeriksaan metalografis memperlihatkan adanya fasa sigma CrCo berbentuk plate / jarum, yang sangat getas dengan indikasi adanya peningkatan nilai kekerasan.
5. Telah terjadi kerusakan coating yang mengakibatkan teroksidasinya karbida / dan terjadi reaksi sulfida masing-masing pada batas butir yang menyebabkan timbulnya micro-crack.
6. Dari pengamatan no 1 s/d 6 diatas menunjukkan bahwa turbine bucket telah terekspos suhu 570 980 C.
7. Akibat mekanisme kerusakan yang terjadi turbine bucket memiliki kehandalan yang sangat rendah.
8. Jadi material MAR-M-246 ini termasuk cast alloys, sebab material ini dipakai pada kondisi diatas 816 C.

Saran

1. Untuk kembali pada kondisi semula perlu dilakukan reparasi dengan

welding (rebuilding), selanjutnya filler yang cocok dengan komposisi kimia MAR-M-246.

2. Perlu dilakukan proses heat treatment untuk menurunkan tegangan sisa hasil welding dan mengembalikan sifat mekanik kepada kondisi semula.
3. Untuk Material MAR-M-246, dapat digunakan dengan route sebagai berikut⁽¹⁾:
 - i) Solution heat treating pada temperatur 1220 C selama 2 jam dan dilanjutkan dengan pendingin udara / air cooling.
 - ii) Precipitation hardening (aging) dengan 870 C selama 24 jam dilanjutkan dengan pendinginan udara / air cooling.
4. Setelah dilakukan peremajaan (rejuvenication) kembali sifat mekanik melalui perubahan struktur mikro, diharapkan bucket dapat beroperasi seperti sedia kala dengan umur pakai sesuai disain.
5. Kembali melakukan evaluasi metalurgis pada bucket yang sudah diperbaiki (repaired) untuk memastikan adanya diffusion bonding dan tidak adanya retak, khususnya hairline crack pada HAZ, dan kembalinya fasa-fasa penguat pada matrix struktur mikro.

Saran Teknis untuk Operasi Turbin

Jika, oleh satu sebab dan hal lainnya, material tidak dilapis (coated) dengan aluminida (aluminide) , maka untuk meningkatkan ketahanan terhadap hot corrosion / sulfidation dan oksida pada saat turbin gas beroperasi nanti, disarankan untuk melakukan kontrol yang ketat pada bahan bakar (fuel) dengan membatasi komposisi pengotor sebagai berikut :

1. Kandungan Sulfur (S) < 1 %
2. Kandungan Sodium dan Potasium (Na + K) dibawah 0,6 ppm

3. Kandungan Vanadium (V)
< 0,5 ppm.

Selain itu, penambahan dengan sedikit Magnesium (Mg) pada bahan bakar (fuel) sebagai inhibitor dapat mengurangi serangan hot corrosion atau sulfidation.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sim, C. T, and Hogel, W.C, “ The Superalloys”, general electric company, John Wiley & Sons Publisher, New York, 1971
2. Sim, C.T, and Stoloff, N.S, and Hagel, W.C. “Superalloys II”, high temperature materials for aerospace and Industrial power, John Wiley & Sons Publisher, New York, 1987.
3. Arismunandar, W. “Turbin”, penggerak mula, ITB Bandung, 1997.
4. Das, A.K, “Metallurgy of failure analysis”, Mc Graw Hill Company, New York, 1977.
5. Brooks, C.R, and Choudhur, A. “Metallurgical failure analysis” Mc Graw Hill Inc, New York, 1993.
6. Racmat, R. S, Dr.Ir “ Laporan teknik Turbin bucket” Bandung, 2002
7. Cahn, R. W, and Evans, A.G, and Mc Lean, M, “High temperature Materials”, Chapman & Hall, 1996.
8. Smallman, R. E and Djaprie, S, Ir.Met “Metalurgi Fisik modern”, 4 ed, PT. Gramedia, Jakarta 1991.
9. Petty, E. R, “Physical metallurgy of Engeneering Materials”, George and Unwin. LTD, London, 1970.
10. Treehewey, K. R, and Chamberlain, J, and Tri Kantjono Widodo, “Korosi (Untuk Mahasiswa dan Rekayasa)”, PT. Gramedia, Jakarta, 1991.
11. Donachie, M. J and Donachie, S. J. “ Superalloys a technical guide”, 2ed, ASM International, 2002.
12. Voort, G. F. V, “Materials Science and engineering series (Metallography : Principle and Practice)”, Mc Graw-Hill, 1984.