

## **BAB III**

### **PROSEDUR ANALISIS KASUS KEGAGALAN**

Untuk menentukan penyebab utama kegagalan pada komponen diperlukan tahapan analisis kegagalan. Namun analisis kegagalan bukan merupakan suatu proses prosedural yang mutlak dilakukan setiap tahapannya. Proses analisis kegagalan dapat berbeda satu sama lain bergantung pada komponen yang dianalisis dan tujuan yang ingin dicapai.

Analisis kegagalan harus segera tuntas diselesaikan karena hasilnya akan segera digunakan secepatnya untuk tindakan perbaikan. Oleh karena itu, metode analisis yang efektif perlu dipilih dan dilakukan agar faktor-faktor penyebab kegagalan segera ditemukan dan rekomendasi perbaikan dapat diusulkan. Beragamnya teknik laboratorium yang tersedia dapat menjebak penganalisa untuk menggunakannya secara berlebihan, sehingga waktu yang dibutuhkannya akan lama dan biaya yang dikeluarkan menjadi lebih mahal. Pemilihan metoda seharusnya diawali dengan pertanyaan “apa yang ingin dilihat”. Metode pengamatan dan analisis harus dilakukan dengan cermat dan segala kemungkinan harus ditinjau.

Analisis kegagalan seringkali sulit dilakukan, oleh karena itu seringkali dilakukan pendekatan dalam setiap analisis. Dengan menginterpretasikan hasil pengamatan maka akan diketahui penyebab kegagalan suatu komponen. Berdasarkan hasil pengamatan tersebut, maka akan tersedia informasi yang diperlukan untuk perbaikan desain, prosedur pengoperasian, dan penggunaan komponen.

#### **3.1 Pendekatan Analisis Kegagalan Material**

Analisis kegagalan dapat didefinisikan sebagai pemeriksaan situasi kegagalan dan komponen yang gagal untuk menentukan penyebab kegagalan. Tujuan analisis ini adalah untuk mendefinisikan mekanisme dan penyebab kegagalan. Analisis kegagalan biasanya dipakai untuk memberikan solusi permasalahan. Tahap-tahap analisis kegagalan yang umum dilakukan berdasarkan referensi (2) adalah sebagai berikut:

### **1. Gambaran situasi kegagalan**

Pada tahap ini riwayat kegagalan harus terdokumentasi. Informasi mengenai komponen yang gagal dan informasi kegagalan sangat penting untuk diketahui, antara lain

Informasi mengenai komponen :

- Nama dan kodifikasi komponen
- Lokasi komponen
- Fungsi dan cara kerja komponen
- Dimensi komponen
- Jenis material dan sifat mekanik komponen
- Proses fabrikasi dan perlakuan panas
- Komponen lain yang mengalami kegagalan

Informasi kegagalan:

- Waktu dan kronologis terjadinya kegagalan
- Kondisi operasi sesaat sebelum terjadinya kegagalan

### **2. Pengamatan visual awal**

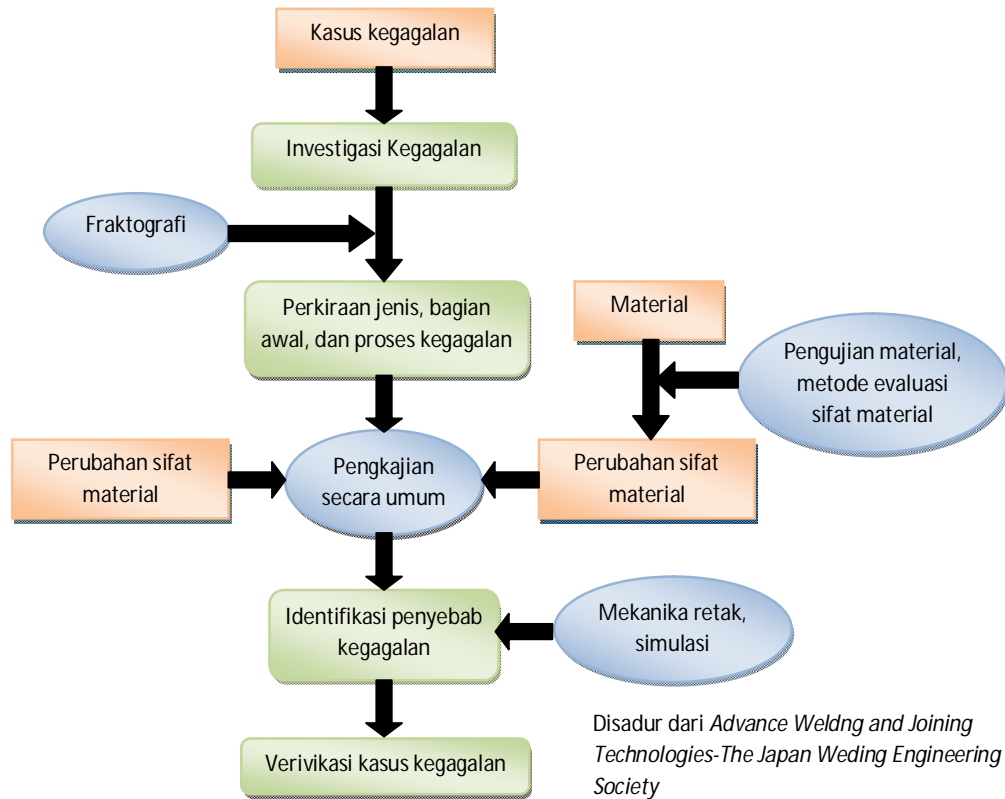
Seluruh permukaan patahan harus secara visual diinspeksi untuk mengidentifikasi daerah awal patahan dan mengisolasinya. Isolasi ini akan sangat bermanfaat untuk analisis mikro selanjutnya yang seringkali mengandung petunjuk penyebab komponen patah. Selain untuk menentukan awal kegagalan, analisis visual diperlukan untuk mengungkap konsentrasi tegangan, ketidaksempurnaan material, adanya *surface coating*, daerah dengan perlakuan perkerasan, las, dan detil struktur yang lain yang memicu retakan. Tingkatan umum tegangan, keuletan material, dan jenis pembebanan (torsi, *bending*, dan lain-lain) seringkali dapat ditentukan berdasarkan analisis visual awal.

### **3. Analisis komposisi kimiawi**

Pemeriksaan ini diperlukan untuk mengetahui jenis material yang digunakan pada komponen. Langkah ini mengacu pada pemeriksaan komposisi kimiawi material dengan menggunakan OES (*Optical Emission Spectrometer*).

### **4. Pengamatan metalografi**

Pengamatan metalografi diperlukan untuk mengetahui karakteristik mikrostruktur komponen yang mengalami perubahan pada saat *manufacturing* dan proses *treatment*. Pemeriksaan metalografi juga dilakukan pada daerah ulir yakni daerah penting yang diduga menjadi daerah rambatan retak.



Gambar 3.1 Prosedur analisis kasus kegagalan <sup>(32)</sup>

### 5. Fraktografi

Pengamatan permukaan patahan tanpa bantuan alat, dengan mikroskop optik, dan dengan mikroskop elektron perlu dilakukan untuk mengetahui mekanisme kegagalan.

### 6. Analisis tegangan dan lingkungan operasi

Analisis tegangan dilakukan untuk membantu memahami apakah komponen memiliki ukuran dan bentuk yang tepat, serta memiliki sifat mekanik yang dibutuhkan. Analisis lingkungan operasi dilakukan untuk memahami apakah ada kemungkinan komponen gagal karena adanya interaksi dengan lingkungan. Dalam beberapa kasus, analisis ini dapat secara langsung membuktikan penyebab kegagalan.

### 7. Sifat material

Pengujian mekanik untuk mengetahui sifat material yang gagal tidak selalu dapat dilakukan karena hal ini bisa menghancurkan komponen tersebut. Dalam Tugas Akhir ini

sifat material diketahui melalui uji kekerasan. Berdasarkan referensi (11), uji kekerasan dilakukan karena:

- a. mudah dan murah: spesimen tidak perlu dipersiapkan secara khusus
- b. pengujian bersifat tidak merusak: deformasi hanya berupa cekungan kecil
- c. sifat mekanik yang lain, seperti *tensile strength*, bisa diperkirakan dari data kekerasan

### 8. Analisis *damage tolerance*

Analisis *damage tolerance* dilakukan untuk memperkirakan umur pertumbuhan retak dan menguantifikasi interval inspeksi.

### 9. Simulasi

Suatu pendekatan yang lain adalah simulasi kegagalan dengan menggunakan komponen yang identik. Komponen tersebut diberi beban yang sama dengan komponen yang gagal. Simulasi ini bisa didekati dengan bantuan perangkat lunak.

## 3.2 Peralatan yang Digunakan dalam Analisis Kegagalan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yakni,

- Alat ukur panjang: penggaris dan jangka sorong
- Alat dokumentasi berupa kamera *digital* merek Panasonic tipe DMC-TZ3
- Alat pemotong : *Cutting Wheel*
- Mikroskop optik Raxvision dan *stereomicroscope* tipe Wild Heerburg
- Mesin *grinding* dan *polishing* tipe Buehler Polisher
- Peralatan *Etching*
- Mesin SEM (*Scanning Electron Microscope*) JEOL JSM-651OLA
- Mesin OES (*Optical Emission Spectrometer*) Fisons Instrument Metals Analyser 3460S
- Mesin uji kekerasan Mitutoyo A-R10 Rockwell B dengan beban 100 kgf

### 3.3 Sampel Komponen

Sampel yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan komponen yang mengalami kerusakan pada saat terjadinya insiden yaitu *ground spoiler actuator housing* (Gambar 3.2) P/N 65C26863-6 dan termasuk dalam ATA 27-62. Sampel yang diterima berasal dari hasil temuan *component shop*. *Shop* menetapkan status komponen tersebut adalah *condemned*<sup>(1)</sup> beserta beberapa komponen lain yang berkaitan (*nut* dan *end-bearing*). Namun komponen lain yang berkaitan dengan kejadian tidak sepenuhnya tersedia untuk selanjutnya dianalisis. Data yang tersedia hanya berupa keterangan dan hasil foto dari *shop finding* (Gambar 3.3).



Gambar 3.2 Sampel komponen yang mengalami kegagalan



Gambar 3.3 Hasil penemuan *shop* pada beberapa komponen

### 3.4 Persiapan Sampel

Beberapa tindakan dibutuhkan sebelum pemeriksaan dilakukan, seperti persiapan, pembersihan, dan pemilihan spesimen. Selanjutnya, tahapan pemeriksaan dan analisis dilakukan untuk mendapatkan spesifikasi komponen dan informasi dari permukaan patah. Dari hasil pemeriksaan dimungkinkan untuk mengetahui spesifikasi komponen dan kesesuaian antara karakteristik komponen dengan tujuan desainnya.

Sampel komponen memiliki ukuran yang cukup besar sehingga dibutuhkan beberapa pemotongan agar dapat melakukan pengujian dengan mudah. Bagian bawah dari housing dipotong kemudian dibagi menjadi empat spesimen (Gambar 3.4b) sebagai sampel untuk beberapa pengujian. Bagian B dan F digunakan untuk pengujian kekerasan, bagian C digunakan untuk pemeriksaan metalografi, bagian D digunakan untuk analisis kimiawi, dan bagian G yang mengandung permukaan patah digunakan untuk pemeriksaan fraktografi.



Gambar 3.4. Persiapan sampel: a) Aktuator sebelum pemotongan. b) Bagian bawah aktuator dibagi menjadi empat spesimen, bagian B, C, D, dan E. c) Bagian F, spesimen yang berasal dari bagian di bawah permukaan patah d) Bagian G mengandung permukaan patah yang digunakan pada pengamatan fraktografi

### 3.4.1 Pemotongan Spesimen <sup>(27)</sup>

Pemotongan spesimen dari material utama untuk pengujian harus dilakukan dengan hati-hati untuk meminimalkan perubahan struktur logam. Tiga jenis pemotongan yang umum adalah:

a. Penggergajian (*Sawing*)

Penggergajian bisa dilakukan untuk material dengan kekerasan di bawah 35 HRC. Penggergajian bisa dilakukan tanpa atau dengan bantuan mesin yang dilengkapi pelumas. Metode ini menghasilkan permukaan yang kasar dan banyak daerah plastis yang harus dibuang dalam persiapan spesimen selanjutnya.

b. *Abrasive Cut-Off Wheel*

*Abrasive cut-off wheel* akan menghasilkan permukaan yang halus yang seringkali siap untuk digerinda. Metode ini biasanya lebih cepat dibanding penggergajian. Pemilihan kondisi pemotongan yang buruk dapat secara mudah memanaskan spesimen sehingga struktur mikro berubah. Aturan umum pemotongan adalah material lunak dipotong dengan *hard bond wheel* sedangkan material yang keras dengan *soft bond wheel*. Metode ini cocok digunakan untuk material dengan kekerasan di atas 35 HRC.

c. *Flame Cutting*

*Flame cutting* akan mengubah struktur logam pada daerah ujung potongan. Jika *flame cutting* diperlukan untuk membuang spesimen, maka spesimen harus berukuran cukup besar sehingga dapat dipotong lagi dengan metode lain yang tidak mengubah struktur mikronya.

### 3.4.2. Gerinda dan Pemolesan Spesimen

Banyak logam dan paduannya perlu dipersiapkan dengan menggunakan metode gerinda dan pemolesan. Sekalipun proses yang dilakukan sama, namun gerinda berbeda dengan pemolesan. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan bahan abrasif secukupnya pada permukaan spesimen <sup>(33)</sup>. Pada proses gerinda, spesimen digosok menggunakan permukaan berputar yang kasar dan dengan dialiri air untuk mencegah perubahan struktur mikro akibat temperatur yang tinggi. Penggosokan dilakukan bertahap dari permukaan yang lebih kasar -dapat dimulai dari *grid* 80- hingga yang lebih lembut untuk mendapatkan permukaan yang rata dan halus. Penggosokan dengan menggunakan permukaan yang lebih kasar membutuhkan lebih banyak aliran air. Setiap penggantian ke permukaan gosok yang lebih lembut, orientasi spesimen diubah 90 derajat. Setelah terjadi

garis-garis goresan yang sejajar dan merata spesimen dicuci dengan air, dan kertas gosok diganti dengan tingkatan yang lebih tinggi secara gradual yaitu 120, 240, 320, 400, 500, 600 dan seterusnya sampai pada *grid* 2000 hingga spesimen siap untuk dipoles.



Gambar 3.5 Mesin grinding dan polishing tipe Buehler Polisher<sup>(10)</sup>

Setelah proses gerinda, spesimen kemudian masuk ke tahap pemolesan (*polishing*) agar permukaan spesimen halus dan mengkilap. Spesimen dipoles dengan cara ditekan pada permukaan piringan yang berputar cepat dan dialiri tetesan air. Piringan ini dilapisi kain beludru penggosok yang telah diberi cairan *polish*. Pemolesan dapat menghilangkan goresan-goresan akibat proses gerinda dan menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap seperti cermin. Untuk membersihkan sisa-sisa *polishing powder* dan goresan-goresan, spesimen dicuci dengan air dan alkohol kemudian dikeringkan dengan *dryer* atau digosok dengan *soft tissue*.

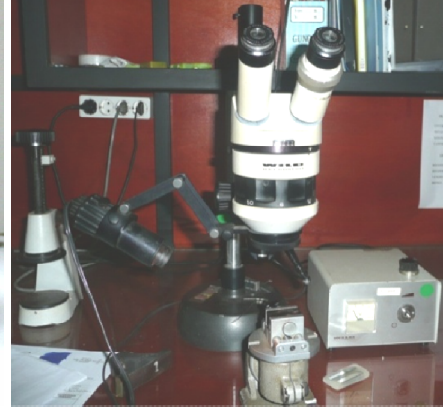
### 3.5 Pengamatan Visual Awal

Pengamatan visual awal dilaksanakan untuk mengetahui bentuk, tampilan, dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro (kasat mata). Pengamatan ini dilakukan dengan dua jenis metode yaitu pengamatan makroskopik menggunakan bantuan kamera digital dan dengan menggunakan bantuan *microscope stereobinocular* dengan beberapa kali pembesaran.

Pengamatan visual dengan menggunakan bantuan *stereo microscope* dilakukan di Laboratorium BPPT, Serpong. Pengamatan dilakukan pada permukaan yang mengalami patah dengan menggunakan pembesaran yang berkisar antara 1 hingga 25 kali.



Gambar 3.6 Kamera *digital* merek Panasonic tipe DMC-TZ3



Gambar 3.7 Peralatan *stereomicroscope* tipe Wild Heerburg.

### 3.6 Identifikasi Komposisi Kimia

Pada kasus kegagalan ini, pemeriksaan komposisi kimia sangat dibutuhkan karena pada mulanya tidak ada dokumen yang menjelaskan spesifikasi komponen secara lengkap dan rinci. Pemeriksaan spesifikasi material memungkinkan untuk mengetahui karakteristik komponen tersebut berdasarkan sifat material penyusunnya. Dengan mengetahui spesifikasi komponen dapat memastikan kesesuaian material yang digunakan dengan kebutuhan desainnya. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa tidak terjadi kesalahan dalam penggunaan material pada komponen tersebut. Material yang digunakan harus benar-benar sesuai dengan kebutuhan komponen saat beroperasi, yaitu dalam menahan beban yang mungkin terjadi selama operasi baik beban statik maupun dinamik. Selain itu pemilihan material perlu mempertimbangkan kemungkinan pengaruh lingkungan luar terhadap operasi komponen, misalnya penggunaan komponen di daerah yang rentan terhadap korosi.

Identifikasi komposisi kimia dilaksanakan dengan pengujian OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Pengujian komposisi kimia dengan *OES test* dilakukan di Laboratorium Lipi, Serpong, Tangerang dengan menggunakan Metal Analyser 3460S. Berdasarkan dokumen *operator manual*-nya, mesin Metals Analyser 3460S digunakan untuk menentukan konsentrasi elemen kimia secara kuantitatif pada sebuah sampel logam.

Operator menjalankan mesin *analyser* dengan mengetikkan perintah melalui *keyboard* dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk persentase konsentrasi kimia.

Sampel yang akan diuji diletakan di atas *table* pada perangkat *stand* mesin *metal analyser* seperti pada Gambar 3.9. *Stand* dapat bekerja sesuai dengan prinsip ruangan yang tertutup oleh sampel. Di dalam stand, sampel berfungsi sebagai elektroda. Bagian permukaan dari sampel ditempatkan berhadapan dengan *counter electrode* dan ‘penembakan’ secara elektrik dihasilkan antara kedua elektroda (sampel dan *counter electrode*). Kemudian argon dialirkan dalam *chamber*. Mesin OES mengkonversi cahaya yang dipancarkan penembakan tadi menjadi konsentrasi elemen sampel.

Sampel yang digunakan harus dipersiapkan terlebih dahulu agar sesuai dan dapat dilakukan pemeriksaan dengan baik. Hal yang perlu diperhatikan antara lain ukuran spesimen dan kondisi permukaan spesimen yang akan diuji. Ukuran spesimen tidak boleh terlalu besar agar dapat masuk dan diletakan di atas *table* saat *stand* ditutup. Namun juga jangan terlalu kecil agar penembakan dapat dilakukan di beberapa titik/daerah pengujian.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan meminimalisir kemungkinan terjadinya kesalahan maka penembakan pada spesimen dilakukan pada tiga titik berbeda. Lokasi penembakan dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11. Dari ketiga lokasi tersebut hasilnya kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan persentase konsentrasi kimia rata-rata dari spesimen. Hasil yang dikeluarkan ditampilkan secara kuantitatif berupa nilai rata-rata konsentrasi kimia spesimen dan standar deviasinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.8 Peralatan *Optical Emission Spectroscopy*