ANALISA KEGAGALAN PADA ENGINE OHT 793 CATERPILLAR MENGGUNAKAN 8 LANGKAH ANALISA KEGAGALAN

Yoddy Agung Nuhgraha
Teknik Mesin, Politeknik TEDC
Email: yan_nuhgraha@poltektedc.ac.id

Abstrak
Dalam menganalisa kegagalan suatu produk, telah banyak diperkenalkan metoda dalam menentukan penyebab kegagalannya. Dari beberapa analisa tersebut, diambil salah satu yaitu metode 8 langkah analisa kegagalan yang dipakai oleh PT. Trakindo Utama Jakarta dalam menganalisa kegagalan produk alat berat dengan merk Caterpillar. Dalam artikel ini akan diuraikan teoritikal 8 langkah analisa kegagalan, pengetahuan dasar yang menunjang analisis, contoh kasus, dan penerapannya. Metoda yang digunakan adalah studi kasus yang akan menjelaskan setiap langkahnya menggunakan kasus nyata yang terjadi di lapangan. Satu kasus yang diambil sebagai contoh adalah kerusakan yang terjadi pada *engine* OHT 793 CAT dengan hasil analisisnya yaitu faktor penyebab kegagalan yang paling mungkin adalah jenis *piston cooling jet* yang salah. Adanya kesalahan ini menyebabkan pelumasan pada piston tidak sempurna dan pada akhirnya rusak.

Kata Kunci: analisa kegagalan, studi kasus alat berat, materi kuliah.

Abstract
In analyzing the failure of a product, many methods have been introduced to determine the causes of failure. From some of these analyzes, one method was taken, namely the 8 steps failure analysis method used by PT. Trakindo Utama Jakarta in analyzing the failure of heavy equipment products with the Caterpillar brand. This article will describe the theoretical 8 steps of failure analysis, basic knowledge that supports the analysis, case examples, and their application. The method used is descriptive which will explain each step using real cases that occur in the field. One case taken as an example is CAT OHT 793 engine failure with the results of the analysis, namely the most likely cause of failure is the wrong piston cooling jet. The existence of this failure causes the lubrication of the piston to be imperfect and ultimately damaged.

Keywords: *failure analysis, heavy equipment case study, course material.*

I. PENDAHULUAN

Analisa kegagalan yang diperkenalkan oleh PT. Trakindo Utama Jakarta (PTTU) berupa langkah-langkah yang diterapkan dalam menganalisa yang berjumlah 8 langkah sehingga diberi nama 8 langkah analisa kegagalan terapan.

PTTU sebagai dealer resmi unit alat berat yang bermerek Caterpillar di Indonesia memiliki layanan purna jual seperti jasa perawatan dan perbaikan. untuk mendukung layanan purna jual tersebut diperkenalkan juga cara menganalisa kegagalan produk agar proses perbaikan sesuai dengan permasalahannya agar tidak terjadi berulang-ulang yang akan menurunkan kepercayaan pelanggan terhadap unit alat berat yang di jual oleh PTTU.

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai "*...a technical procedure to investigate the root cause of failure of a product, equipment, or an unintentional mistake in designing, manufacturing, or any unseen problem in a continuous process."* (Kashif M. Deen, Ijaz H. Khan, 2016). Jika diterjemahkan yaitu analisa kegagalan adalah suatu prosedur teknis untuk menyelidiki akar masalah kegagalan suatu produk, peralatan, atau sebuah kesalahan tanpa sengaja dalam perancangan, manufaktur, atau apapun masalah yang tidak terlihat dalam suatu proses berkelanjutan. Sedangkan menurut Caterpillar analisa kegagalan adalah "*Thoughtful review of product and environmental facts, which leads to identification of root causes of product problems."* ("*Failure Analysis Management"*, 2001). Terjemahannya yaitu analisa kegagalan adalah peninjauan yang cermat terhadap fakta produk dan lingkungan, yang mengarah pada identifikasi akar penyebab masalah produk.

Dari dua rujukan di atas dapat disimpulkan bahwa analisa kegagalan adalah suatu kegiatan dalam rangka mencari akar permasalahan dari suatu produk yang gagal. karena bentuknya adalah kegiatan maka Caterpillar memberikan langkah-langkahnya yang berjumlah 8 langkah untuk mempermudah dan memandu para analis dalam mencari akar masalah.

Objek penelitian yang akan diulas adalah kegagalan yang terjadi pada unit alat berat OHT 793 Caterpillar, dimana *engine* unit tersebut mengalami kerusakan. Pencarian sebab-sebab kerusakan akan diuraikan melalui 8 langkah Analisa kegagalan.

II. LANDASAN TEORI

A. Manajemen Analisa Kegagalan

Delapan Langkah Analisa Kegagalan:

1. Nyatakan masalah dengan jelas dan ringkas.

Langkah yang pertama adalah jika ada kegagalan ataupun masalah atas kinerja suatu unit alat berat maka harus diperjelas dahulu masalahnya. Masalah

memiliki dua bagian yaitu keluhan dan komponen. Keluhan adalah apa-apa yang dapat dirasa, dilihat, didengar, dan dicium bahwa ada sesuatu yang tidak benar. Sedangkan komponen adalah bagian tertentu dari unit alat berat yang bermasalah. Contoh laporan masalah yang benar ada dalam pernyataan berikut: "*Track* kanan *excavator* 320D berdecit dan bergetar." Dapat disimpulkan ada bagian keluhan yaitu berdecit dan bergetar serta ada bagian komponen yaitu *track* sebelah kanan *excavator* 320D.

2. Atur pengumpulan fakta.

Langkah 2 diatur untuk pengumpulan fakta, atau perencanaan ke depan. Teknisi harus meninjau pernyataan masalah dan memikirkan bagian mana yang dapat menyebabkan kegagalan. Dia harus menuliskan bagian-bagian kunci (penting) untuk mendapatkan lebih banyak fakta dan membuat daftar literatur, perkakas, fasilitas, peralatan, orang, jadwal, waktu, dan tindakan pencegahan yang akan dilakukan saat mengumpulkan fakta. Keselamatan bagi manusia dan peralatan juga harus dipertimbangkan dalam langkah ini.

3. Amati dan catat fakta.

Langkah 3 adalah mengamati dan merekam fakta. Teknisi harus mengikuti rencana yang dibuat pada Langkah 2 dan kumpulkan fakta sebanyak mungkin. Beberapa fakta yang berukuran kecil perlu memakai kaca pembesar sebelum dapat dikenali. Dia harus merekam fakta dengan menuliskannya dan mengambil gambar, bukan mengandalkan ingatan. Gambar/foto dan rekaman fakta-fakta memungkinkan kita untuk mengulasnya kembali untuk mengumpulkan fakta yang mungkin ada yang terlewatkan bahkan setelah bagian-bagian itu tidak ada.

4. Berpikir logis dengan fakta.

Menautkan/merangkai fakta adalah mirip dengan menyatukan potongan kecil teka-teki gambar agar dapat melihat gambar besarnya. Dalam analisis kegagalan, analis jarang memiliki semua fakta secara lengkap dan utuh karena beberapa fakta biasanya hilang atau hancur selama kegagalan itu terjadi ataupun pada saat perbaikan dilakukan.

5. Identifikasi akar penyebab yang paling mungkin.

Kalimat "paling mungkin" digunakan karena beberapa fakta biasanya hilang dan peristiwa itu bisa juga terjadi pada saat teknisi sedang menginterpretasikan fakta. Jika lebih banyak fakta tersedia, maka hasil akhirnya mungkin saja dapat berubah juga.

Sehingga tepat untuk mengatakan, "kemungkinan besar ini adalah akar masalahnya."

6. Berkomunikasi dengan pihak yang bertanggung jawab atas kegagalan tersebut.
7. Lakukan perbaikan sesuai arahan pihak yang bertanggung jawab.
8. Tindak lanjuti dengan pelanggan.

Tiga (3) langkah terakhir dari delapan langkah analisa kegagalan adalah mengkomunikasikan "apa", "siapa yang melakukannya" dan "siapa yang akan memperbaikinya". Ini mungkin tidak akan menjadi tanggung jawab teknisi. Namun komunikasi merupakan hal yang penting dalam tahap ini, teknisi harus dapat melakukannya dengan baik.

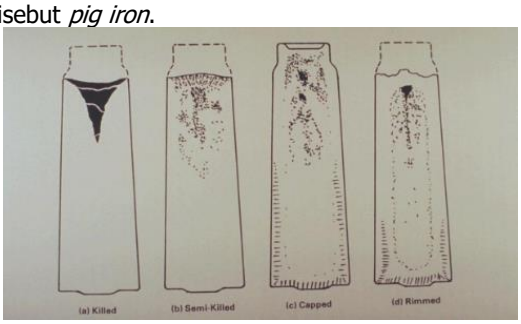
B. Metalurgi

Metalurgi dapat didefinisikan sebagai ilmu tentang logam dan paduan yang dikhususkan untuk mempelajari bahan teknik ("*Basic metallurgy*", 2001). Hal-hal dasar yang harus dimiliki teknisi analisa kegagalan adalah mencakup pemurnian logam, pembentukan logam, dan perlakuan panas. Juga memiliki pengetahuan tentang ilmu bahan dan cacat bahan yang dapat timbul dari proses pembentukan. Berbagai metode pengujian tak merusak (*Non Destructive Test /NDT*) untuk mendeteksi cacat material dan cacat proses. Beberapa tes NDT ini termasuk pengujian kekerasan, radiografi, dan pengujian ultrasonik.

1. Pemurnian Logam

Besi tuang (*cast iron*) dan baja (*steel*) adalah dua logam yang paling umum digunakan dalam produk alat berat. Besi tuang dan baja diproduksi dari bijih besi yang ditemukan dalam endapan yang terdiri dari oksida besi stabil yang bercampur dengan kotoran.

Bijih besi dimurnikan dengan memanaskannya dengan kokas (batubara yang dipanggang tanpa oksigen) dan batu kapur dalam tanur sembur yang dilapisi dengan batu bata tahan api. Saat ketiga bahan ini meleleh, dua hal penting terjadi: (1) kokas bergabung dengan oksigen dari bijih besi melepaskan besi cair yang tenggelam ke dasar tungku, dan (2) batu kapur bergabung dengan kotoran (kotoran, belerang, dll.) dan mengapung ke atas membentuk terak. Tindakan kimia dan fisik ini menghasilkan logam halus yang kurang stabil yang disebut besi kasar yang di-tap untuk diproses lebih lanjut menjadi baja atau dituang menjadi *ingot* disebut *pig iron*.



Gambar 1. Jenis struktur ingot

Baja adalah *pig iron* yang telah melalui proses pemurnian untuk menurunkan kandungan karbon, lebih mengurangi kotoran, dan untuk menyesuaikan persentase elemen lainnya. Saat ini, sebagian besar baja diproduksi di tungku busur listrik. *Pig iron* dimasukkan ke dalam tungku berlapis bata, bersama dengan skrap, dan elektroda karbon diturunkan ke dalam logam. Arus dihidupkan dan

panas dari resistansi logam ke aliran arus dengan cepat melelehkan logam. Penyulingan berlanjut sampai tingkat karbon, kotoran, dan unsur-unsur tertentu lainnya mencapai spesifikasi yang diperlukan. Karena proses ini tidak sempurna, sebagian kecil partikel tungku batu bata dan terak, serta beberapa kotoran dari bijih besi masih terkandung di dalam baja.

Beberapa jenis logam diantaranya adalah:

a. Besi cor, dengan kandungan karbon 2% - 4% sehingga bersifat getas.
b. Baja, dengan kandungan karbon 0.02% - 2%, sehingga bersifat lebih kuat, tangguh, ulet, tahan impak, dan keras dari pada besi cor. Baja dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan kandungan karbonnya yaitu, baja karbon rendah 0.02% - 0.25% C, baja karbon sedang 0.25% - 0.5% C, dan baja karbon tinggi 0.5% - 2.0% C.
c. Baja paduan, baja yang dipadukan dengan unsur pemadu seperti krom, nikel, vanadium, tungsten, dan molibdenum untuk mendapatkan sifat seperti tahan karat, kekuatan tarik, dan ketangguhan.

2. Pembentukan logam

Besi dan baja lainnya dapat dibuat menjadi bentuk yang diinginkan dengan menggunakan proses pengecoran dan pembentukan. Pengecoran digunakan untuk membentuk sebagian besar bagian besi yang digunakan di produk Caterpillar. Bagian baja yang digunakan dalam produk Caterpillar dibentuk oleh proses pengecoran atau dengan menggunakan salah satu dari proses pembentukan dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi berikut:

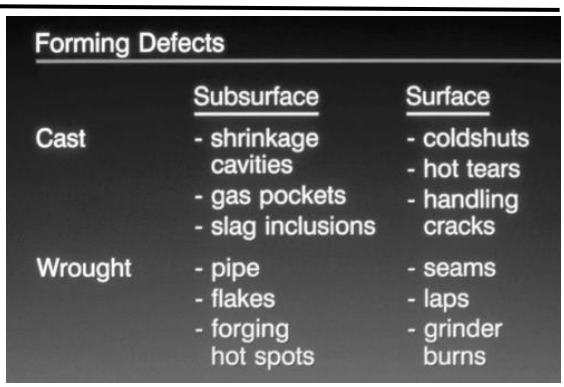
a. *Rolling*
b. *Forging*
c. *Extruding*
d. *Drawing*

3. Perlakuan Panas

Perlakuan panas digunakan untuk meningkatkan kekuatan, ketangguhan, atau ketahanan aus. Perlakuan panas mengubah struktur sel satuan besi tuang dan baja dan menempatkan atom karbon ke dalam sel membuat sel lebih keras. Ada banyak proses yang berbeda digunakan untuk memanaskan bagian yang dituju. Satu proses perlakuan panas yang biasa digunakan oleh Caterpillar disebut *direct hardening* atau *quenching* dan *tempering*. Proses perlakuan panas ini terdiri dari tiga langkah: (1) *austenitizing*, (2) *quenching*, dan (3) *tempering*.

4. Cacat Material

Dalam proses pembuatan logam baik melalui pengecoran ataupun pembentukan dapat menghasilkan cacat material. Cacat material dibedakan berdasarkan lokasi dimana cacat tersebut berada yaitu di permukaan atau di dalam permukaan logam. Jenis-jenis cacat tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Cacat material pada proses pembentukan logam

Sebagai tambahan, perlakuan panas dapat menghasilkan cacat seperti *quench crack, soft spot,* dan *straightening crack*.

5. Pengujian Tidak Merusak

Non destructive test (NDT) digunakan untuk memastikan pemurnian, pembentukan, dan proses perlakuan panas untuk memastikan bahan bebas dari kekurangan yang berbahaya. NDT juga digunakan untuk menemukan material yang cacat hingga 100%. Metode yang umum digunakan adalah pengujian magnaglo, zyglo, ultrasonik, dan arus eddy. Magnaglo, zyglo, dan arus eddy saat ini digunakan untuk menemukan cacat permukaan sementara pengujian ultrasonik digunakan untuk menemukan cacat bawah permukaan.

C. Keausan

Meskipun banyak jenis-jenis keausan, dapat disusun tujuh jenis keausan yang sering ditemukan yaitu:

1. *Abrasive wear*
2. *Adhesive wear*
3. *Corrosion*
4. *Erosion*
5. *Cavitation erosion*
6. *Contact stress fatigue*
7. *Fretting corrosion*

Setiap jenis keausan memiliki karakteristiknya sendiri yang disebabkan oleh kondisi lingkungan tertentu. Jadi, mengenali jenis keausan akan membantu mengidentifikasi lingkungan yang tidak bersahabat yang menyebabkannya ("*Principles of Wear", 2001).*

D. Patahan

Lima istilah dalam patahan yang perlu dipahami terlebih dahulu yaitu:

1. *Stress raiser* (berupa konsentrasi tegangan) adalah penyimpangan bentuk fisik (*cracks, grooves, pits, defects, threads, key slots*).
2. *Initiation sites* adalah lokasi awal retak, atau bagian pertama dari material yang patah.
3. *Final fracture* adalah lokasi akhir retak, atau bagian akhir dari material yang patah.
4. *Shock loads* dan *overloads* menghasilkan retakan yang cepat yang biasanya kasar dan merupakan akibat dari kejadian sebelumnya.
5. Jika *cyclic loads* terlalu besar, atau ketika kekuatan materialnya berkurang maka *slow*

cracks dapat terjadi dan biasanya permukaannya halus dan dihubungkan dengan penyebab utama dari rangkaian proses kegagalan.

Beban dapat dikategorikan menjadi tiga, yaitu:

1. Beban impak
2. Beban berlebih
3. Beban siklus

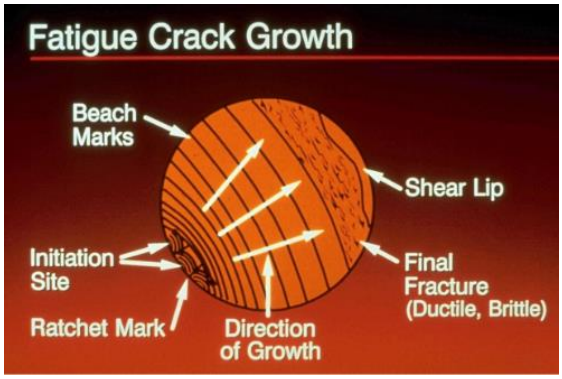
Patahan juga dikategorikan menjadi:

1. Patah getas
2. Patah ulet
3. Patah fatik

Karakteristik patahan berbeda-beda sesuai kategorinya.

1. Karakteristik patah getas menghasilkan permukaan yang *crystalline* bisa terang atau kusam*,* terjadi secara cepat, tidak ada *plastic deformation*, dan terdapat jejak *chevron.*
2. Karakteristik patah ulet menghasilkan permukaan yang kasar dan gelap, terjadi secara cepat, terdapat *plastic deformation,* dan *shear lips* yang besar.
3. Karakteristik patah fatik menghasilkan permukaan yang rata dan halus, berwarna cerah, terjadi secara lambat, dan terdapat jejak *beach mark.*

Mekanisme terjadinya retak fatik dapat diilustrasikan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Pertumbuhan retak fatik

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah menerapkan 8 langkah analisa kegagalan ke dalam kasus kegagalan yang terjadi di lapangan. Kasus yang terjadi di lapangan tersebut pada unit alat berat OHT 793 Caterpillar. Lokasi kejadian di PT. Freeport Indonesia tahun 2005 yang dimuat dalam laporan analisa kegagalan PT. Trakindo Utama dengan kode formulir GF.SS.0004-02.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapatkan dari *Failure Analysis Report* (FAR) diuraikan ke dalam setiap langkah analisa kegagalan sebagai berikut.

1. Nyatakan masalah dengan jelas dan ringkas.

Laporan kerusakan:
Piston *engine* dilaporkan gagal, terdapat asap putih dan *blowby* pada unit OHT 793 CAT.
Komponen keluhan:
whitesmoke dan *blowby*.
komponen *part:*
engine piston OHT 793 CAT.

2. Atur pengumpulan fakta

Berdasarkan laporan kerusakan terjadi pada bagian engine dan lebih khususnya lagi di daerah piston. sehingga dengan informasi ini maka direncanakan untuk menyelidiki dan mengumpulkan fakta mengenai:

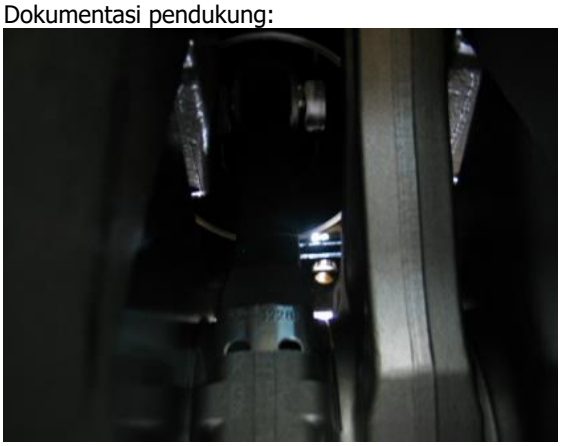
a. Sistem pelumas
b. Sistem bahan bakar
c. Sistem pendingin *engine*
d. Nomenklatur piston

3. Amati dan catat fakta.

Dari lapangan didapatkan fakta-fakta sebagai berikut:

a. *Engine* ini berasal dari *remanufacture* yang baru.
b. Waktu pengoperasian 1523 jam.
c. Terlihat asap putih yang keluar dari ujung knalpot dan ada *blowby*.
d. Piston nomor 6 rusak dan retak.
e. Jenis piston adalah *monotherm* (satu bagian).
f. *Piston cooling jet* yang dipakai untuk jenis *piston two pieces* (dua bagian).
g. Seluruh piston yang tersisa mengalami ciri kerusakan tidak sempurnanya pelumasan.
h. Piston seluruhnya mengalami goresan, perubahan warna, terdapat material lain yang menancap.
i. Semua piston memiliki tanda perubahan warna.
j. *Lip seal* alternator rembes.

Dokumentasi pendukung:



Gambar 4. Kondisi *engine* yang rusak



Gambar 5. *Piston cooling jet* yang dipakai *engine*



Gambar 8. Gores di dalam *cylinder liner* akibat kurang pelumasan



Gambar 6. Perubahan warna karena panas berlebih pada piston *monotherm*



Gambar 9. Erosi, semua piston berkondisi serupa



Gambar 7. Perubahan warna dan goresan pada *piston skirt*



Gambar 10. *Piston cooling jet.* Kiri, untuk *monotherm piston type*, dan kanan, untuk *two pieces piston type*.



Gambar 11. Unit alat berat OHT 793 Caterpillar

4. Berpikir logis dengan fakta.

dari semua fakta yang telah didapat pada langkah ketiga beserta foto-foto pendukungnya maka pada langkah ini disusun rangkaian kejadian kerusakan piston tersebut dari mulai keadaan *engine* masih bagus sampai keadaan *engine* sudah rusak.

a. Jenis *piston cooling jet* tidak sesuai. Lihat **Gambar 5** dan **Gambar 10**
b. Ketidaksesuaian ini berakibat pada tidak sempurnanya pelumasan. Lihat **Gambar 8.**
c. Terjadi panas berlebih yang membakar pelumas sehingga mengepul asap putih dan blowby.
d. Panas berlebih juga menyebabkan piston rusak, tergores, dan berubah warna. LIhat **Gambar 6**, **Gambar 7**, dan **Gambar 9**.
e. Keadaan terakhir *engine* rusak.

5. Identifikasi akar penyebab yang paling mungkin.

dengan tersusunnya urutan kejadian mengapa piston rusak pada langkah 4 di atas maka dapat disimpulkan bahwa penyebab yang paling mungkin dari kegagalan ini adalah tidak sesuainya jenis *piston cooling jet* yang dipakai untuk piston bertipe *monotherm*. *Piston cooling jet* yang dipakai adalah cocok untuk jenis piston *two pieces*. *Piston cooling jet* berfungsi untuk menyemprotkan cairan pelumas di bagian bawah piston agar gesekan antara piston dan *cylinder liner* dapat dilumasi.

Solusi dan pencegahan agar tidak terulang lagi atas kegagalan ini adalah mengganti semua piston dan memakai *piston cooling jet* yang sesuai dengan jenis piston *monotherm*.

6. Berkomunikasi dengan pihak yang bertanggung jawab atas kegagalan tersebut

Pihak yang bertanggung jawab disini adalah pihak pabrikan yaitu Caterpillar yang telah memasang *piston cooling jet* yang tidak sesuai dengan pistonnya pada saat di *remanufacture*.

7. Lakukan perbaikan sesuai arahan pihak yang bertanggung jawab.

Maka dilakukan proses garansi ke pabrikan dan dilakukan perbaikan.

8. Tindak lanjuti dengan pelanggan.

Selanjutnya setelah dilakukan perbaikan maka pada beberapa waktu kedepan dikonfirmasi kembali apakah kegagalan terjadi kembali.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Akar masalah penyebab kegagalan yang terjadi adalah karena *piston cooling jet* yang tidak sesuai/tidak cocok dengang piston *monotherm*.

2. Saran

Pastikan semua *part* yang digunakan di pabrik *remanufacture* sudah benar *serial number*-nya dan cocok dengan *engine arrangement* dan ikuti informasi terbaru dari Caterpillar.

DAFTAR PUSTAKA

…, *Applied Failure Analysis 1*, PT. Trakindo Utama Training Center, 2020.

…, *Basic Metallurgy*, Caterpillar, 2001.

…, *Failure Analysis Management*, Caterpillar, 2001.

…, *Failure Analysis Report*, PT. Trakindo Utama, 2005.

…, *Machine Diagnostic*, Caterpillar, 2001.

…, *Principles of Fractures*, Caterpillar, 2001.

…, *Principles of Visual Examination*, Caterpillar 2001.

…, *Principles of Wear*, Caterpillar, 2001.

Kashif M. Deen, Ijaz H. Khan, *Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Chemicals, Concrete and Power Industries,* Elsevier Ltd., 2016.