

## **ANALISA KEGAGALAN PATAH PADA LEAN AMINE COOLER FAN 135 H 04 PT. HESS INDONESIA PANGKAH LTD**

Sunarto, Teguh Nugroho  
Fakultas Teknik Universitas Gresik

### **ABSTRAK**

*Dalam dunia industri, lazim digunakan berbagai alat pemindah panas atau heatexchanger. Ada beberapa jenis heat exchanger yang sering digunakan, antara lain menggunakan hembusan udara, mengalirkan pada air, dll. Tugas akhir ini membahas salah satu jenis heat exchanger yaitu dengan menggunakan aliran udara (Air Cooled Heat Exchanger / ACHE). Untuk dapat menghembuskan udara diperlukan baling-baling yang biasa digerakkan oleh motor terhubung oleh sabuk (belt). Istilah umum yang sering dipakai untuk pendingin dengan baling-baling ini adalah Cooler Fan.*

*Terdapat kasus yang terjadi pada sebuah instalasi di PT. HESS Indonesia Pangkah Ltd. yaitu kipas pendingin Lean Amine ( Lean Amine Cooler Fan / 135 H 04 ) yang mengalami patah pada bilah baling-balingnya. Kejadian patah yang terjadi beberapa kali dengan modus yang sama, tentulah sangat merugikan industri. Oleh karenanya jurnal ini dirasa cukup penting untuk memberikan sedikit solusi demi tercapainya kehandalan peralatan industri. Yang tentu akan berimbas pada meningkatnya produktifitas. Akan dijelaskan mengenai landasan teori, faktor penyebab kegagalan, analisis kegagalan dan penyelesaiannya. Hasil studi kasus ini diharapkan bermanfaat untuk kemudian dapat diterapkan dalam cooler fan yang lain.*

**Keyword: Air Cooled Heat Exchanger, Cooler Fan, analisis kegagalan**

## PENDAHULUAN

Sumur minyak bumi Ujung Pangkah memiliki karakteristik yang secara umum sama dengan cadangan minyak kawasan pantai utara Jawa, yaitu kandungan  $H_2S$  yang cukup tinggi.  $H_2S$  adalah senyawa gas yang tidak hanya beracun, tetapi juga sangat merusak alat karena korosifnya. Di sinilah proses *amine regeneration* digunakan di PT HESS Indonesia Pangkah. *Amine* adalah cairan kimia yang digunakan dalam proses menyerap kandungan  $H_2S$  dan  $CO_2$  dalam gas.

*Lean Amine Air Cooler* 135-H-04 berfungsi untuk mendinginkan *lean amine* padahilir *Lean/Rich Amine Exchanger*. Mengingat kritisnya alat *Lean Amine Cooler fan* ini, maka kehandalan alat ini harus menjadi prioritas. Kasus -kasus kegagalan yang terjadi sebelumnya mestilah menjadi pelajaran agar tidak terlang lagi di kemudian hari.

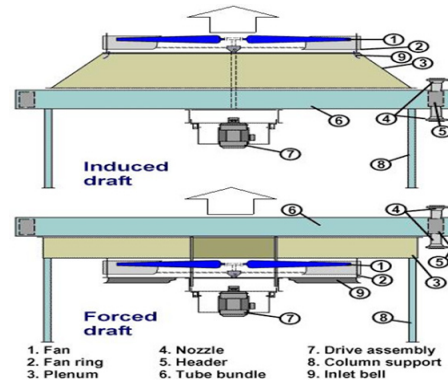
## KAJIAN TEORI

### Penukar Panas Berpendingin Udara (*Air Cooled Heat Exchanger/ACHE*)

Prinsip operasi untuk *ACHE* yaitu cairan panas memasuki tabung pada salah satu ujungnya, sedangkan udara mengalir di atas dan di antara permukaan bersirip. Terdapat dua tipe dasar *ACHE* yang ada di pabrik, yaitu:

1. *Forced Draft*: *Fan* terletak di bawah bundel dan udara dipaksa melalui tabung sirip.

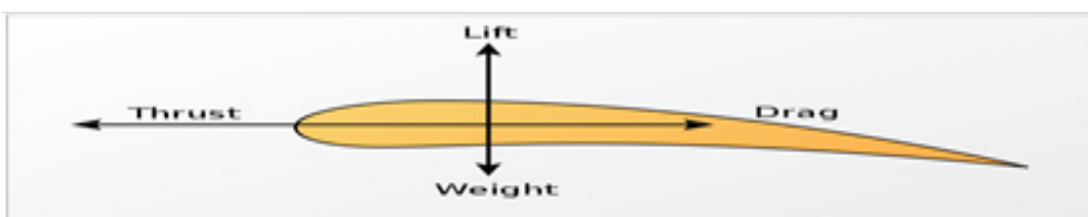
2. *Induced Draft*: *Fan* terletak di atas bundel dan udara ditarik melalui tabung sirip



### Gaya yang Bekerja pada Baling – Baling Kipas

Membahas gaya yang bekerja pada sebuah baling-baling kipas, sangat dekat pembahasan dengan gaya yang bekerja pada suatu pesawat terbang atau helikopter. Analogi ini cukup beralasan karena sama-sama menggunakan prinsip aerodinamika dalam prinsip kerjanya. Ada beberapa macam gaya yang bekerja pada benda benda yang terbang di udara. Namun hingga saat ini, setidaknya ada 3 penjelasan yang diterima untuk fenomena munculnya gaya angkat pada sayap, yaitu: prinsip Bernoulli, Hukum III Newton, dan efek Coanda.

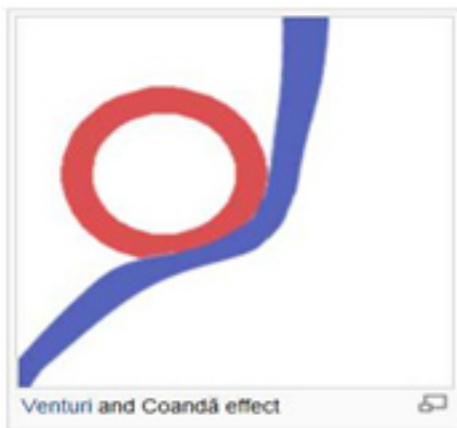
1. **Prinsip Bernoulli** menyatakan bahwa semakin tinggi kecepatan fluida (untuk ketinggian yang relatif sama), maka tekanannya akan mengecil. Penjelasan dengan prinsip Bernoulli ini masih menuai pro kontra; namun



Bentuk Airfoil sayap pesawat atau baling – baling kipas

penjelasan ini pulalah yang digunakan Boeing untuk menjelaskan prinsip gaya angkat.

2. **Hukum III Newton** menekankan pada prinsip perubahan momentum manakala udara dibelokkan oleh bagian bawah sayap pesawat. Dari prinsip aksi = reaksi, muncul gaya pada bagian bawah sayap yang besarnya sama dengan gaya yang diberikan sayap untuk membelokkan udara.
3. **Efek Coanda** menekankan pada beloknya kontur udara yang mengalir dibagian atas sayap. Bagian atas sayap pesawat yang cembung memaksa udara untuk mengikuti kontur tersebut. Berikut gambar sederhana prinsip dari EfekCoanda.



Pembelokan kontur udara tersebut dimungkinkan karena adanya daerah tekanan rendah pada bagian atas sayap pesawat. Supaya bisa terbang, kita perlu

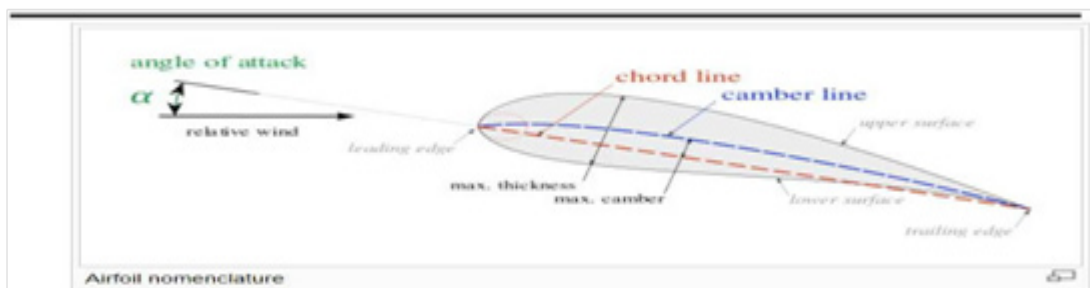
gaya yang bisa mengatasi gaya berat akibat tarikan gravitasi bumi. Gaya ke atas (lift) ini harus bisa melawan tarikan gravitasi bumi sehingga benda bisa terangkat dan mempertahankan posisinya di angkasa. Lalu bagaimana kita bisa mengatasi gravitasi ini? Ini saatnya memanfaatkan bantuan dari fisikawan-fisikawan legendaris: Isaac Newton, Bernoulli, dan Coanda. Isaac Newton yang terkenal dengan ketiga persamaan geraknya menyumbangkan hukum III Newton tentang Aksi-Reaksi.

### Mengetahui besar gaya Angkat (*Lift Force*) pada baling-baling.

Para ahli merumuskan berbagai bentuk airfoil yang berbeda-beda untuk berbagai kegunaan. Hal ini erat kaitannya dengan sudut serang atau angle of attack dari sayap seperti digambarkan di bawah ini.

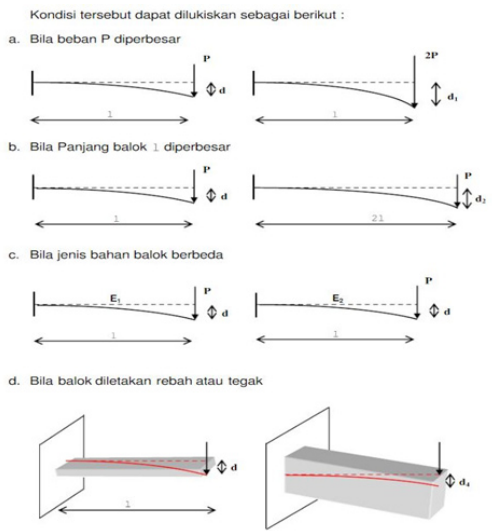
### Mengetahui beban statik pada lengan baling – baling

Bentuk desain lengan baling baling pada kipas pendingin Lean Amine Cooler Fan 135H04 adalah berupa lengan kantilever. Bila sebatang balok kantilever dibebani dengan beban vertikal  $P$  pada ujungnya, maka akan menimbulkan lentur pada balok tersebut, lentur ini menyebabkan terjadinya perubahan bentuk berupa lendutan, yang kemudian mengakibatkan timbulnya tegangan pada penampang balok tersebut. Dimana



Gambar Angle of Attack dan bentuk airfoil

lapisan bagian atas dari penampang balok akan mengalami tegangan tarik, sedangkan pada bagian bawah balok akan mengalami tegangan tekan.



**Gambar Contoh berbagai kondisi pembebanan pada lengan kipas**

**Teori Analisis Getaran**

Ketika menganalisis getaran ditemukan dua komponen dari sinyal getaran, yaitu frekuensi dan amplitudo.

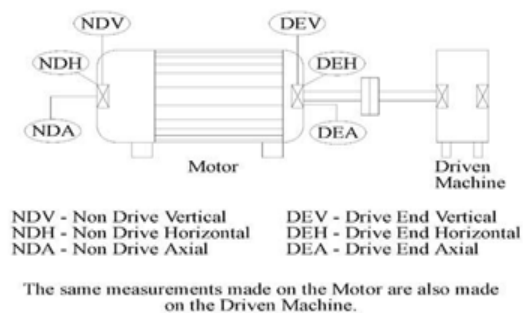
1. Frekuensi adalah berapa kali sebuah kejadian berlangsung pada jangka waktu tertentu (dengan kejadian adalah satu siklus getaran). Frekuensi di mana getaran terjadi itu menunjukkan jenis kesalahan.
2. Amplitudo merupakan ukuran getaran sinyal. Amplitudo suatu getaran menentukan tingkat keparahan dari kesalahan - semakin tinggi amplitudo, yang ada, semakin tinggi getaran, dan semakin besar masalah.

Ada beberapa hal yang perlu menjadi pertimbangan ketika melakukan analisis getaran (*Vibration Analysis*) antara lain Faktor skala, titik pengukuran mesin, *timewave form analysis*, *FFT analysis* dan *ISO* standar tingkat keparahan vibrasi dari suatu peralatan.

**1. Faktor Skala (Scale Factors)**

Skala faktor menentukan bagaimana pengukuran diukur, terdiri dari *Peak*, *Peak-to-Peak*, *Average*, dan *RMS*. Hubungan tersebut dapat disederhanakan menjadi persamaan sebagai berikut:

- a.  $Peak = 1.0$
- b.  $RMS = 0.707 \times Peak$
- c.  $Average = 0.637 \times Peak$
- d.  $Peak-to-Peak = 2 \times Peak$



**2. Titik Pengukuran Mesin (Measurement Sensor Position)**

Pemilihan titik pengukuran mesin sangat penting ketika mengambil *machineryvibration data*. Hindari permukaan yang dicat, dibongkar, zona *bearing, housing splits*, dan struktur yang tidak rata. Daerah ini memberikan respon yang buruk.. Bilamungkin, getaran harus diukur dalam arah matriks ortogonal, yaitu a) arah aksial (A), b) arah horisontal (H), dan c) arah vertikal (V).Gambaran atau deskripsi umum penentuan titik pengukuran mesin dapat dilihat dalam gambar berikut.

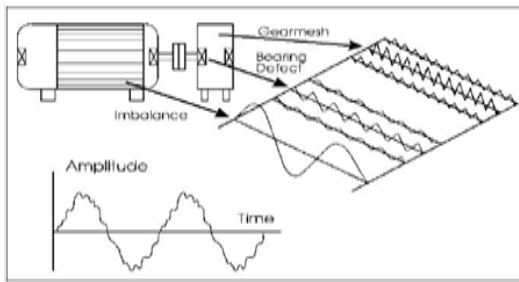
Idealnya, pengukuran harus diambil saat mesin dalam kondisi operasi normal. Sebagai contoh, pengukuran harus diambil ketika rotor, *housing*, dan *bearing* mencapai suhu stabil atau normal (tegangan, aliran, tekanan, dan beban). Jika mesin dalam kecepatan mesin variabel, pengukuran harus diambil pada titik yang sama.

### 3. Analisis Amplitudo vs. Waktu (*Time Waveform Analysis*)

*Time waveform plot* menggambarkan bagaimana sinyal dari *accelerometer* atau kecepatan muncul ketika digambarkan sebagai amplitudo (y-axis) dengan waktu (sumbu x). *Time waveform* menampilkan sampel waktu getaran mentah secara singkat, meskipun biasanya tidak berguna sebagai format analisis lain.

### 4. Analisis Spektrum FFT (*Fast Fourier Transformation*)

Sebuah *Fast Fourier Transformation* (FFT) adalah metode lain yang digunakan untuk melihat sinyal getaran. Setiap bagian dari mesin memiliki komponen individu yang terkait dengannya.



Gambar Skala Frekuensi Menunjukkan Sinyal Getaran pada Komponen

**Tabel ISO 10816-3:2009:** *Industrial machines with nominal power > 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ.*

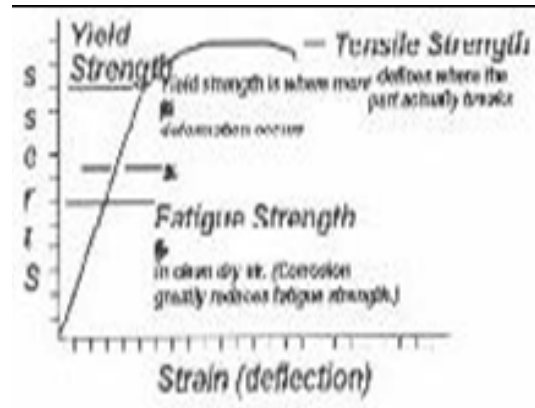
DIN ISO 10816-3	Group 1		Group 2	
Machine type	Large machines 300 kW < P < 50 MW		Medium sized machines 15 kW < P < 300 kW	
Foundation	flexible	rigid	flexible	rigid
Velocity $v_{eff}$ mm/s rms	11,0	D		
	7,1			
10–1000 Hz $r > 600$ rpm	4,5	C		
	3,5			
2–1000 Hz $120 < r < 600$ rpm	2,8	B		
	2,3			
	1,4	A		

A Newly commissioned machines   
 B Unrestricted long term operation   
 C Restricted long term operation   
 D Vibration causing damage.

### Teori Kelelahan Logam

Para ahli mengatakan bahwa penyebab lebih dari 90% dari semua kegagalan di lapangan dapat dideteksi dengan pemeriksaan fisik dengan teliti menggunakan pembesaran daya rendah dan beberapa pengujian fisik dasar.

Beban berfluktuasi disebut beban kelelahan, dan ketika kekuatan kelelahan terlampaui, celah dapat berkembang. Retak kelelahan perlahan dapat berjalan di komponen sampai patah pada komponen terjadi dan korosi dapat sangat mempengaruhi kekuatan kelelahan.



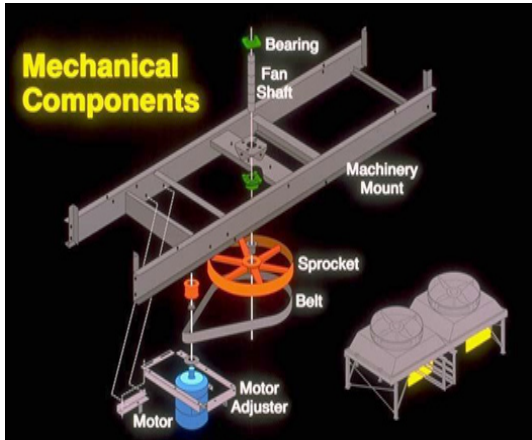
Gambar Kurva Yield Strength

### HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Data Kegagalan Patahnya Bilah Lean Amine Cooler

Lean Amine Cooler 135-H-04 sudah semestinya dapat diandalkan operasionalnya. Namun pada kenyataannya, dalam waktu tidak lama setelah instalasi, alat yang cukup sederhana ini malah terjadi patah pada lengan baling-balingnya. Kejadian yang sama berulang pada *cooler fan* yang lain dengan modus yang sama menunjukkan bahwa mengganti yang rusak saja tidak cukup. Pastilah ada yang tidak beres dengan *cooler fan* ini. Hal inilah yang

kita menyebutnya sebagai RCFA, *Root Cause Failure Analysis* atau Analisa Akar Penyebab Kegagalan.



**Gambar Mekanisme Penggerak Cooler 135 H 04**

### 1. Pengumpulan Data

Kegagalan yang umum kita alami adalah bersifat KRONIS, artinya bahwa 20% dari kegagalan tersebut mewakili 80% dari total kerugian. Ini berarti bahwa jika Kita menyelidiki 20% dari kegagalan yang merupakan 80% dari kerugian Kita, Kegiatan yang paling penting atas sebuah kegagalan atau masalah adalah untuk mengumpulkan data sehubungan dengan masalah itu. Berikut hasil temuan fakta dari tempat kejadian.

a. 15 August 2010



**Gambar Temuan lapangan patahnya Cooler blade**

b. 16 August 2010



**Gambar Kondisi Cooler Blade setelah kegagalan**

c. 20 August 2010

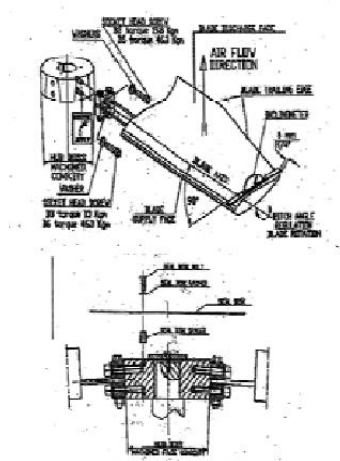
Dilakukan NDT (*Non Destructive Test*) di lengan blade pada 135-H-04B

### 2. Latar belakang kejadian yang pernah terjadi sebelumnya

Menengok kembali ke 2007-2008, apabila kita perhatikan dari data sejarah yang pernah ada, kegagalan selalu menunjukkan indikasi yang serupa seperti terlihat pada gambar di bawah, yaitu adanya Indikasi *fatigue* (kelelahan), terletak selalu di bagian sekitar plat yang dijepit

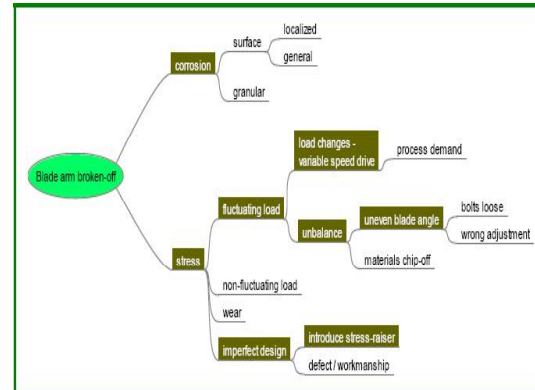


### 3. Menganalisis Data



- Manufacturer: CORFINCO
- Speed (RPM): 4000 RPM
- Diameter: 3829 mm
- No of blades: 5
- Type: 3829-5-ML

### Diagram Ringkasan penyebab masalah

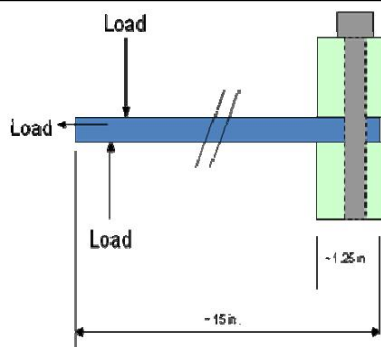


Mode kegagalan ini kita buat dengan menampilkan desain dari Lengan Bilah cooler. Dari data pabrik, OEM menyatakan dan memberikan gambar desain yang lengkap tentang lengan bilah ini seperti tampak dalam gambar diatas,

Gambar diatas dapat dibuat skema sederhana dari sisi pembebanan sebagai berikut

#### a. Analisa Teknik

Sudut lengan cooler ( angle blade ) yang dibuat oleh pabrik merupakan hasil optimal dari nilai nilai yang diinginkan seperti dalam lembar data desain. Lokasi cooler, berat jenis udara, air flow yang diinginkan, dan daya yang tersedia merupakan beberapa pertimbangan yang digunakan.



- Variable speed motor
- Load changes with
- Highest stresses concentrated in clamped area (see
- Clamped area (~1.5 of the rest of arm

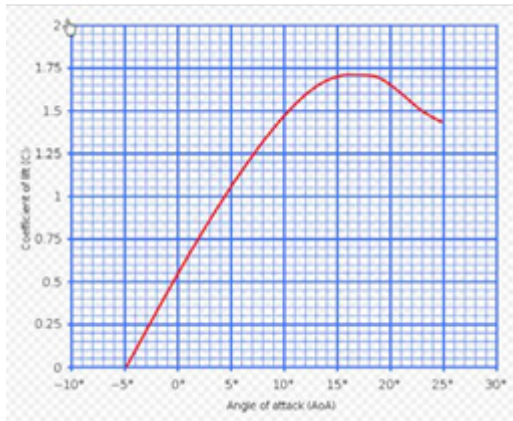
Skema desain bilah kipas

Dari data yang di dapat dan digabungkan dengan Snap Chart yang kita lakukan, kemudian kita membuat garis besar penyebab dari masalah tersebut. Dapat dituangkan dalam diagram ringkasan dibawah, dengan meletakkan patahnya lengan cooler sebagai akibat, maka kita mendapati berbagai kemungkinan penyebabnya, yaitu Korosi dan Tegangan.

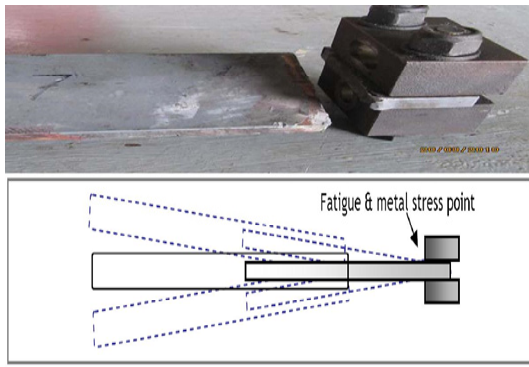


Aktivitas pengukuran angle blade di lapangan

Ketika terjadi perubahan sudut maka akan mengakibatkan gaya yang bekerja juga ikut berubah. Dalam hal ini, kasus patahnya Lean Amine Cooler 135 H 04 bisa dijelaskan sebagai berikut:



Dalam suatu instalasi cooler fan, nilai berat jenis udara dan area adalah konstan. Sementara kecepatan udara yang terjadi juga tidak mengalami perubahan seiring berubahnya sudut baling-baling. Di saat sudut baling-baling berubah ini akan mempengaruhi nilai CL atau Koefisien Lift. Ditunjukkan dalam grafik disamping. Yang mana sudut blade secara langsung mengubah beban pada cooler. Dalam mekanika teknik, kita dapat menganalisa kegagalan yang terjadi dikarenakan beban berlebih pada bilah coolernya.

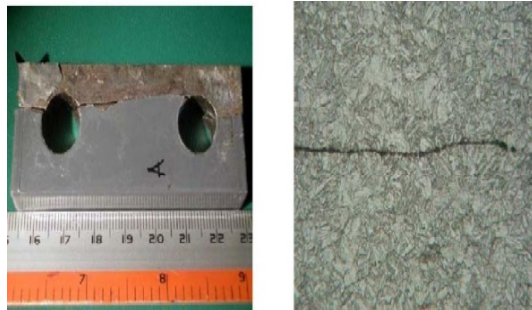


Gambar Gaya yang terjadi pada lengan cooler

**b. Analisa ilmu logam**

Analisa ilmu logam (metalurgi) dilakukan untuk mengetahui penyebab kegagalan dari sisi molekular. Dilakukan tiga jenis pengujian dan pemeriksaan untuk mengetahui keadaan sesungguhnya dari material tersebut. Pengujian dan pemeriksaan yang dilakukan adalah 1) Fraktografi dan pemeriksaan metalografi, 2) pengujian kekerasan, 3) Komposisi kimia analisis.

- 1) Fraktografi dan pemeriksaan metalografi pembesaran 500x



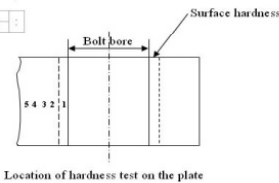
Tampak adanya tanda fraktur, retakan pada pelat dilihat secara mikroskopik.

- 2) Pengujian kekerasan  
 Pengujian kekerasan, hardness testing dilakukan di laboratorium dengan alat penguji Frank Finotest. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel berikut

Pemakai Jasa Customer	: HESS Limited	Bahan Material	: Carbon steel
No. Kontrak	: 12	Sample	: Plate
No. Laporan	:	Standar Uji	: DIN 50133
Report No.	:	Test Standard	:
Tanggal	:	Mesin Uji	: Frank Finotest
Date	:	Test Machine	:

Load : 5 Kg

Sketsa Sketch



Location	Test result (HV)		Standard (HV)	Keterangan/remark
	Plate A	Plate B	A516 Gr. 65	
1	447	500	140-150	Plate is heat treated so then the hardness is increased
2	336	336		
3	336	336		
4	336	336		
5	336	336		

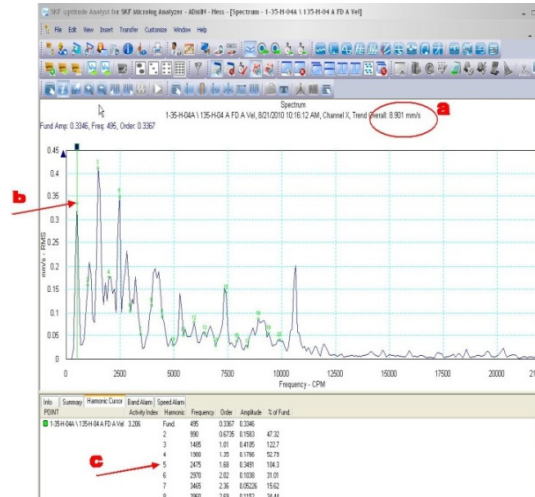
Kekerasan dari plat adalah 336 HV sebagai produk dari perlakuan panas pada bahan dasar saat lubang baut mengeras menjadi HV 450 - 500 HV. Nilai ini menunjukkan bahwa tegangan sisa relatif tinggi.

- 3) Pengujian Komposisi kimia analisis Pengujian komposisi kimia dilakukan di laboratorium dengan alat penguji Spark Spectrometer.

**c. Analisa Vibrasi**

Analisa vibrasi dilakukan oleh vibration analyst. Analisa ini mendalami fenomena yang berhasil dikumpulkan dari Lean Amine Cooler saat mengalami gangguan. Pengamatan vibrasi mendapati nilai

yang cukup tinggi pada Overall, yaitu **8,9mm/s**. Nilai yang sangat jauh dari batas normal, 2-3 mm/ s. Hasil pengukuran vibrasi ditunjukkan pada gambar berikut.



Pemakai Jasa: HESS Limited			Bahan: Carbon steel	
Mesin Uji : Spark Spectrometer” Metorex Met (Arc Met 930 SP)			Sampel : Plate	
Unsur	Test result (wt %)		Standard	Keterangan/ remark
	Plate A	Plate B		
Fe	97.49	97.53	A516 Gr. 65 Rem.	The material of plate is close to ASTM A 516 Gr. 65
C	0.10	0.083	Max. 0.24	
Si	0.26	0.25	0.13-0.45	
Mn	1.29	1.28	0.79-1.30	
Cr	0.21	0.20	-	
Ni	0.046	0.044	-	
Mo	0.48	0.47	-	
Cu	0.011	0.011	-	
Al	0.026	0.024	-	
V	0.067	0.064	-	
W	< 0.00	< 0.00	-	
Ti	0.0015	0.0013	-	
Nb	0.0025	0.0012	-	
B	< 0.00	< 0.00	-	
S	0.021	0.018	Max. 0.035	
P	0.012	0.037	Max. 0.035	

Dari data di atas ada beberapa hal yang bisa kita cermati:

1. Overall, terpantau 8.9 mm/s. Melewati batas aman.
2. 1 x rpm, pada 495rpm menunjukkan trigger atau pembangkit sinyal harmonic. Merupakan kecepatan putar dari poros kipas.
3. 5 x rpm, yaitu pada 2475rpm merupakan indikasi dari sinyal vibrasi *coolerblade* atau *Blade Pass Frequency*. Note: Jumlah bilah cooler ada 5 buah.

## KESIMPULAN

Dari beberapa nilai di atas dapat kita simpulkan sementara yaitu terdapat adanya ketidakseimbangan atau *unbalance* pada kipas. Ketidakseimbangan merupakan suatu indikasi yang dapat dijelaskan dalam analisa vibrasi sebagai berikut.

1. Ketidakseimbangan/ *unbalance* selalu ditunjukkan dengan 1x rpm tinggi dari bagian yang tidak seimbang (tapi getaran pada 1x tidak selalu tidak seimbang). Biasanya, puncak 1x rpm ini akan mendominasi spektrum.
2. Amplitudo pada 1x rpm biasanya akan lebih besar dari atau sama dengan 80% dari keseluruhan amplitudo (jika hanya tidak seimbang adalah masalah).
3. Amplitudo getaran sebanding dengan kecepatan putar. Yakni **3x kecepatan** akan menghasilkan peningkatan ketidakseimbangan getaran dengan faktor **9x amplitudo!**
4. Ketika ketidak seimbangan mendominasi masalah lain, biasanya akan ada sekitar 90 derajat fase yang berbeda antara arah horisontal dan vertikal pada bearing yang sama.
5. *Massa* ketidakseimbangan menghasilkan kekuatan berputar seragam yang berubah arah.

6. Getaran radial biasanya akan sangat jauh lebih tinggi dari yang di arah aksial. Setelah melalui serangkaian analisa teknik, analisa ilmu logam dan analisa vibrasi, dapat kita tarik benang merah dari penyebab kegagalan ini adalah:
  - a. Desain Bilah lengan penjepit yang kurang tepat
  - b. Beban berfluktuasi berulang: perubahan kecepatan dan kipas tidak seimbang
  - c. Korosi serangan pada daerah stres yang tinggi
  - d. Torsi atau kelonggaran pada baut pengikat bilah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Maedel, Jr, P. (2001) : *Vibration Standards and Test Codes, Shock and Vibration Handbook 5<sup>th</sup> edition* (Cyril Harris, editor), McGraw Hill Publishing Co.
- American Petroleum Institute (March 2002), "Air-Cooled Heat Exchangers for General Refinery Service," API Standard 661, Fifth Edition.
- Hudson Products Corp. (2000), "The Basics or Air-Cooled Heat Exchangers".
- American Institute of Chemical Engineers (1978), "Air-Cooled Heat Exchangers – A Guide to Performance Evaluation," AICHE Equipment Testing Procedure.
- Monroe, R.C. (1985) , "Minimizing Fan Energy Costs," Chemical Engineering. Co., Minden, NV.
- HESS, UPD-IJ-MS-DS-135-H-04-0 (2008) : *Equipment Data Sheet for Lean Amine Air Cooler (135-H-04)*

HESS, UPD-HEI6-P1-MS-DR-135-H-04-001-AB (2008) :*GA & Design Data LeanAmine Cooler Item No 135-H-04*

HESS, UPD-HEI6-P1-MS-MN-0001 (2008): *I.O.M MANUAL FOR AIR FIN COOLERSTS-D*

HESS, UP-OPS-MAN-0002 Section 7 (2008): *Amine Regeneration System*<http://www.sachssalvaterra.com>.