
Analisis Kegagalan *Camshaft* Pada Sepeda Motor Berkapasitas 125 CC

Sri Nugroho^{1, a)}, Sulardjaka¹, & Saut Remanto¹

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

^{a)}srinugroho2004@yahoo.com

Abstract.

This study explains about the failure of camshaft on motorcycles with capacities of 125 cc that has been used for 3 years with a distance of 42,000 Km. This study explains about the failure of camshaft on motorcycles with capacities of 125 cc. The causes and mechanisms of failure were investigated in the laboratory testing: visual investigation, macrography, chemical composition, hardness, and micrography. Investigation visual and macrographic found pits (micropitting) in the surface of cam lobe which is characteristic of fatigue wear. Chemical composition test found differences in chemical composition between new and fail camshafts which is located on carbon and silicon elements can be represented by carbon equivalent. Carbon equivalent on the new camshaft 4.3 wt % and camshaft failed 4.6 wt %. The results of hardness testing at the surface of cam lobe with carbon equivalent 4.6 wt % is 38.5 HRC and carbon equivalent 4.3 wt % is 43 HRC. The result of the microstructure test on the camshaft failed at the surface cam lobe found graphite flake with matrix pearlite while in the new camshaft not occur graphitization with matrix cementite. This study concluded that the failure of camshaft on motorcycle with capacities 125 cc because phenomenon fatigue wear on the surface cam lobe due high carbon equivalent that resulted properties and structure of the material on the camshaft components are not in accordance with the standards that should.

Keywords: *camshaft, micropitting, carbon equivalent, fatigue wear, cam lobe.*

1. PENDAHULUAN

Pada zaman yang serba cepat ini, kendaraan menjadi salah satu kebutuhan manusia sebagai alat transportasi. Di kawasan Asia, Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah konsumen kendaraan terbesar. Menurut Kepala Korps Polisi Lalu Lintas, terdapat lebih dari seratus dua puluh juta kendaraan di Indonesia pada tahun 2016 dan sepeda motor merupakan kendaraan yang paling banyak digunakan, yaitu sekitar 71% dari total kendaraan di Indonesia.

8 November 2017

Pada kendaraan sepeda motor, terdapat tiga komponen utama yaitu komponen rangka, sistem mesin, dan sistem kelistrikan. Komponen sistem mesin yang paling umum diketahui adalah *crank case*, *cylinder block* (silinder blok), *cylinder head* (kepala silinder), piston, *ring* piston, *connecting rod* (batang piston), *crankshaft* (poros engkol), dan mekanisme katup. Material yang digunakan pada sistem mesin ini adalah besi cor dan aluminium. Namun karena sistem mesin ini melakukan kerja yang berat, komponen tersebut dapat mengalami kerusakan seperti aus atau retak. Hal ini menyebabkan kerja mesin menjadi tidak sempurna dan bisa menyebabkan mesin gagal bekerja.

Camshaft merupakan suatu komponen pada mesin yang berfungsi untuk menggerakkan katup *intake & exhaust* berdasarkan putaran *crankshaft* dengan kata lain komponen *camshaft* sebagai pengatur waktu pembukaan dan penutupan katup. Komponen *camshaft* mempunyai dua buah tonjolan (*cam*) yang memiliki karakteristik masing-masing. Pembukaan katup diatur oleh sentuhan profil *cam lobe* dengan *rocker arm* sehingga akan menyebabkan membuka dan menutupnya katup *intake* dan *exhaust*. [1].

Mekanisme kerja *camshaft* terbagi menjadi beberapa jenis, tergantung dari lokasi penempatan *camshaft* tersebut, diantaranya adalah : SOHC (*single overhead camshaft*) merupakan sebuah mekanisme yang menggunakan satu *camshaft* dalam kepala silinder (*cylinder head*) yang berfungsi untuk menggerakkan kedua katup yaitu *intake* dan *exhaust*, dalam mekanisme kerja *camshaft* tipe SOHC terdapat sebuah *rocker arm* untuk menggerakkan katup *intake* dan *exhaust*. Mekanisme kerja *camshaft* yang lainnya adalah DOHC (*double overhead camshaft*) merupakan sebuah mekanisme yang menggunakan dua buah *camshaft* dalam satu kepala silinder (*cylinder head*) dan tidak membutuhkan *rocker arm* untuk menggerakkan katup, katup digerakkan oleh valve lifter atau pengangkat katup. Pada jenis ini setiap *camshaft* mempunyai fungsi yang berbeda, satu *camshaft* berfungsi untuk menggerakkan katup masuk dan satu *camshaft* lagi untuk menggerakkan katup buang [2].

Komponen *camshaft* merupakan salah satu komponen penting dalam sistem motor bakar, sehingga *camshaft* harus mempunyai sifat yang tangguh (*tough*) di bagian poros serta kekerasan dan ketahanan aus yang baik pada bagian *cam lobe*. Material yang umumnya digunakan untuk pembuatan *camshaft* saat ini ada *chilled cast iron*. Dalam proses pembuatan komponen *camshaft* dengan menggunakan *chilled cast iron*, bagian *cam lobe* harus dilakukan proses *chill* yaitu

8 November 2017

dengan cara menambahkan alat pendingin atau *chiller* yang di letakkan di bagian *cam lobe* sebelum dilakukannya proses penuangan logam cair kedalam cetakan. Struktur mikro *chilled cast iron* di bagian permukaan *cam lobe* terdapat struktur sementit dan perlit dan tidak terdapatnya grafit sehingga mempunyai kekerasan dan ketahanan aus yang baik sedangkan pada bagian poros *camshaft* terbentuknya grafit berbentuk serpih (*flake*) dan metode pengecoran yang digunakan merupakan *sand casting* dengan dikombinasikan dengan alat pendingin atau *chiller* [2].

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan pada komponen *camshaft* sepeda motor 4 langkah. Pada kasus ini kegagalan terjadi pada bagian *cam lobe*. Kegagalan pada *cam lobe* biasanya terjadi akibat kelelahan dari material *camshaft*. Untuk mengetahui penyebab kegagalan dari material *camshaft*, dilakukan berbagai pengujian. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian sifat mekanik, pengujian komposisi kimia, dan pengujian struktur mikro. Dari pengujian tersebut dapat diketahui nilai kekerasan dari *camshaft*, unsur penyusun *camshaft* dan struktur mikronya. Pengujian ini akan digunakan untuk mengetahui sifat-sifat material dan dari pengujian ini dapat digunakan untuk mengetahui penyebab kegagalan *camshaft* pada mesin berkapasitas 125 cc.

Terdapat beberapa fenomena kegagalan yang sering dijumpai pada komponen *camshaft* seperti *fatigue wear* atau keausan lelah pada material yang terjadi akibat adanya pembebanan berulang (*cyclic loading*) yang melebihi batas kelelahan dari material, ditandai dengan munculnya bentuk lubang-lubang kecil (*micropitting*) [3]. Kegagalan lainnya yang sering terjadi pada komponen *camshaft* merupakan patah lelah atau *fatigue fracture* yang terjadi dikarenakan adanya pembebanan yang berlebihan, cacat dalam proses pengecoran seperti terdapatnya inklusi yang meningkatkan potensi terjadinya pengintian retakan dan perambatan retakan, dan bisa dikarenakan kedalaman *chill* saat proses pembuatan *camshaft* yang mana *chill* mempunyai sifat yang keras dan rapuh [4]. Salah satu contoh kegagalan *camshaft* berupa *fatigue wear* ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun kemungkinan penyebab kegagalan *fatigue wear* dapat dikarenakan sistem pelumasan yang kurang optimal yang mana lapisan pelumas tidak memisahkan kedua permukaan secara sempurna dan mengakibatkan terjadinya kontak antara *cam lobe* dengan *roller follower* yang menyebabkan permukaan mengalami deformasi sehingga timbulnya lubang (*pitting*).

8 November 2017

Hal ini juga dapat disebabkan karena sifat dan struktur material tidak sesuai dengan standar.



GAMBAR 1. *Micropitting* dan *macropitting* [3].

2 MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah komponen *camshaft* sepeda motor 125 cc yang telah mengalami kegagalan dan yang masih baru. Metode penelitian yang dilakukan untuk bisa menginvestigasi mekanisme dan penyebab kegagalan *camshaft*. Untuk mencapai tujuan ini investigasi lapangan dan pendekatan eksperimen di tingkat laboratorium dilakukan untuk mengungkap bukti-bukti yang terkait dengan kegagalan. Pengujian yang dilakukan antara lain pengamatan visual, makrografi, komposisi kimia, kekerasan, dan mikrografi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengamatan Visual

Pengamatan visual merupakan salah satu metode dalam analisis kegagalan. Metode ini bertujuan untuk melihat bentuk fisik dari material yang mengalami kegagalan serta karakteristik yang terjadi. Pada kasus ini komponen *camshaft* sepeda motor 125 cc mengalami kegagalan setelah pemakaian selama 3 tahun dengan jarak tempuh ± 42.000 Km. Kronologi peristiwa awal terjadinya kegagalan adalah ketika sepeda motor dihidupkan terdengar suara bising pada *cylinder head* dan sepeda motor sulit untuk dihidupkan. Penggunaan terus dilakukan hingga akhirnya dilakukan pergantian komponen baru. Untuk mengetahui secara pasti kegagalan yang dialami oleh *camshaft*, maka dilakukan analisis berdasarkan hasil pengamatan *visual* untuk mendapatkan suatu hipotesis yang dibuktikan dengan pengujian komposisi kimia, pengujian struktur mikro, pengujian makrografi dan pengujian kekerasan. Pada Gambar 3 terlihat jelas *camshaft* mengalami kerusakan dibagian *cam lobe*, dengan kerusakannya berupa aus pada sebagian permukaannya. Keausan pada permukaan ini adalah akibat gesekan antara *cam lobe* dengan *rocker arm* yang terdapat pada kepala silinder.

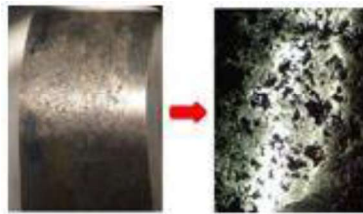
8 November 2017



GAMBAR 3. Letak kegagalan komponen *camshaft* di bagian *cam lobe*

3.2 Hasil Pengujian Makrografi

Berdasarkan pengamatan makrografi yang telah dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 1x, keausan tampak seperti lubang-lubang kecil (*micropitting*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, yang merupakan ciri dari *fatigue wear*. Keausan ini menyebabkan terbentuknya retakan tepat dibawah permukaan pada bagian yang terdeformasi, kemudian retak tersebut merambat ke permukaan dan menghilangkan partikel-partikel di permukaan, yang terlihat seperti lubang-lubang kecil. Untuk melihat retakan ini, dilakukan pengujian mikroskop dengan mengamati *cross-sections* dari bagian yang aus, seperti pada Gambar 5. *Fatigue wear* terjadi akibat keretakan yang semakin berlanjut dimana kegagalan pada lapisan permukaan karena adanya pembebanan berulang (*cyclic loading*) yang melebihi batas kelelahan dari material. Seiring waktu dan adanya pembebanan berulang, lubang akan berkembang yang mengakibatkan lubang akan menjadi lebih besar dan lubang-lubang yang terjadi akan semakin banyak.



GAMBAR 4. Permukaan *cam lobe* yang mengalami *fatigue wear*



GAMBAR 5. *Cross-sections* dari bagian *camshaft* yang aus.

8 November 2017

3.3 Hasil Uji Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia *camshaft* baru dan gagal ditunjukkan pada Tabel 1. Material *camshaft*, baik yang baru maupun yang gagal, masuk dalam klasifikasi *grey cast iron G4000d* dikarenakan semua unsur komposisinya relatif sama.

TABLE 1. Komposisi kimia *camshaft* (wt%)

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
<i>Camshaft Gagal</i>	92,24	4,009	1,951	0,590	0,1	-	0,502	0,208
<i>Camshaft Baru</i>	92,56	3,681	1,803	1,803	0,1	-	0,587	0,211
G4000d	<i>Bal.</i>	3,10- 3,60	1,95- 2,40	0,6- 0,90	0,1 max	0,15 max	0,85- 1,25	0,40- 0,60

Hasil dari pengujian antara *camshaft* gagal dan baru menunjukkan bahwa unsur utamanya adalah Fe yang masing-masing sebesar 92,24 wt% dan 92,56 wt% dan unsur-unsur paduan yang dominan adalah C, Si dan Mn yang masing-masing sebesar 4,009 wt%, 1,951 wt% dan 0,590 wt% pada *camshaft* gagal dan pada *camshaft* baru 3,681 wt%, 1,803 wt% dan 0,660 wt%. Kandungan unsur yang memberikan pengaruh besar pada material besi cor adalah karbon, silikon, dan mangan sedangkan unsur-unsur lain cenderung konstan dan bernilai tetap sehingga tidak memberikan pengaruh yang berarti.

Setelah nilai karbon dan silikon didapatkan dari pengujian komposisi kimia menggunakan alat spectrometer, maka nilai karbon dan silikon ini dapat diwakili oleh nilai *carbon equivalent* (%CE) dengan rumus :

$$CE = \% C + \frac{\% S + \% P}{3}$$

Dari rumus diatas didapatkan adanya perbedaan nilai *carbon equivalent* antara *camshaft* baru dan gagal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

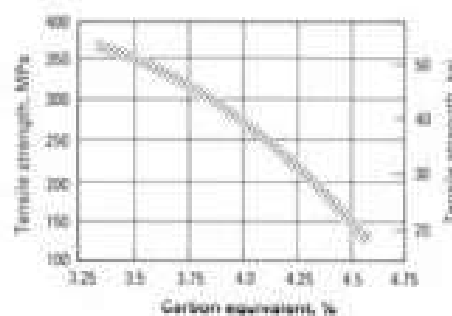
TABLE 2. *Carbon equivalent* (% CE) pada komponen *camshaft*.

Komponen	Komposisi Kimia			%CE
	C	Si	P	
<i>Camshaft gagal</i>	4,009	1,951	0,1	4,6
<i>Camshaft baru</i>	3,681	1,803	0,1	4,3

Dari hasil perhitungan nilai *carbon equivalent* (CE), *camshaft* gagal mempunyai nilai *carbon equivalent* (CE) sekitar 4,6 wt % yang menunjukkan kandungan karbon dan silikon yang lebih tinggi dari komposisi eutektik (hipereutektik) dan pada *camshaft* baru nilai *carbon equivalent* (CE) sekitar 4,3 wt% yang merupakan paduan pada titik eutektik sementara nilai

8 November 2017

carbon equivalent yang diisyaratkan atau sering digunakan untuk pembuatan *camshaft* sekitar 4,0-4,3 wt %. Terdapatnya perbedaan nilai *carbon equivalent* (CE) sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik khususnya kekerasan. Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin tinggi *carbon equivalent* dalam besi cor akan menyebabkan turunnya kekuatan dan kekerasan besi cor. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi nilai *carbon equivalent* (CE) maka jumlah grafit yang dihasilkan semakin banyak sehingga kekerasan semakin rendah dan sebaliknya semakin rendah *carbon equivalent* (CE), semakin besar kecenderungan besi membentuk struktur putih dan mottled cast iron [6]. Pada kasus ini perlu dilakukannya pengujian kekerasan dan pengujian mikrografi untuk mengetahui pengaruh nilai *carbon equivalent* (CE) terhadap sifat dan struktur material *camshaft* sepeda motor 125 cc.



Gambar 7. Grafik pengaruh nilai *carbon equivalent* (CE) terhadap tensile strength [6]

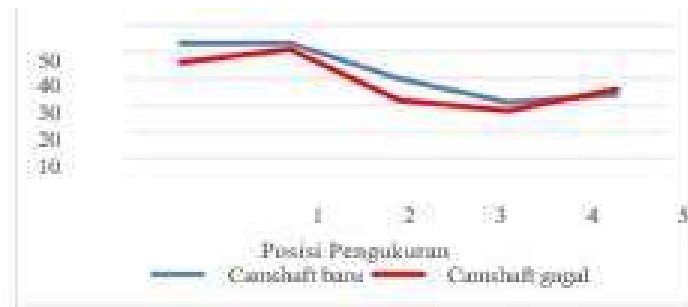
3.4 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell Hardness Tester* Model HR-150A skala C (HRC) dengan pembebanan 150 kgf dan menggunakan pendonor diamond. Pengujian *rockwell* dilakukan pada bagian *cam*, dimana pengukuran kekerasan dilakukan pada 5 titik. Titik 1 dan 2 terletak pada bagian permukaan *cam* (*cam lobe*) dan titik 3, 4, dan 5 terletak di bagian tengah *cam* (*core cam*).



GAMBAR 8. Titik-titik pengujian kekerasan *Rockwell* pada *camshaft*, (a) *camshaft* baru, (b) *camshaft* baru

8 November 2017



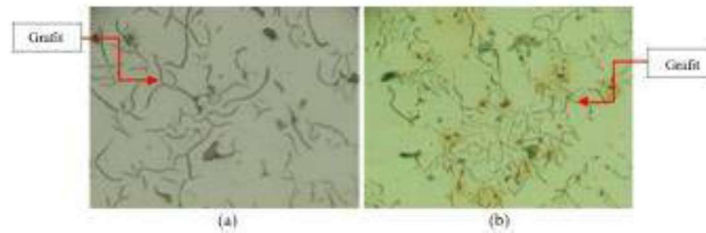
GAMBAR 9. Grafik kekerasan terhadap posisi pengukuran di bagian cam.

Berdasarkan grafik diatas dari hasil uji kekerasan metode *rockwell*, didapatkan bahwa nilai kekerasan pada komponen *camshaft* gagal di bagian permukaan *cam lobe* jauh lebih kecil dibandingkan pada komponen *camshaft* baru. Dari data diatas nilai kekerasan yang didapatkan menunjukkan penurunan yang signifikan seiring dengan bertambahnya nilai *carbon equivalent* (CE). Nilai CE berbanding terbalik dengan angka kekerasan yang mana semakin tinggi nilai *carbon equivalent* maka kekerasan akan semakin menurun dan sebaliknya rendahnya nilai *carbon equivalent* kekerasan akan semakin tinggi. Hal ini banyak dipengaruhi oleh komposisi kimia dan struktur mikro yang cenderung membentuk matrik ferrit atau perlit. Nilai kekerasan pada komponen *camshaft* gagal di bagian core cam mempunyai rata-rata kekerasan 22 HRC dan pada *camshaft* baru mempunyai rata-rata kekerasan 25 HRC sedangkan pada *camshaft* gagal bagian *cam lobe* nilai kekerasan 38,5 HRC dan pada *camshaft* baru 43 HRC dimana nilai kekerasan standar pada komponen *camshaft* pada bagian tengah *cam lobe* sekitar 25-34 HRC dan bagian permukaan *cam lobe* 40-45 HRC. Dapat disimpulkan bahwa kekerasan pada *camshaft* gagal sudah tidak masuk standar dan untuk mengetahui penurunan nilai kekerasan dapat dilihat dari struktur mikro yang terdapat pada komponen *camshaft* dengan melakukan pengujian mikrografi [2].

3.5 Hasil Uji Mikrografi

Pengujian mikrografi pada *camshaft* dilakukan dengan etsa dan tanpa etsa dimana proses tanpa etsa dimaksudkan untuk mengetahui jumlah dan bentuk grafit. Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro yang diperoleh tanpa etsa pada bagian tengah *cam lobe* menunjukkan komponen *camshaft* gagal dan *camshaft* baru memiliki grafit tipe A namun adanya perbedaan yang terlihat dari jumlah grafit. Hal ini dikarenakan semakin tingginya nilai *carbon equivalent* maka akan menghasilkan jumlah grafit yang lebih banyak

8 November 2017

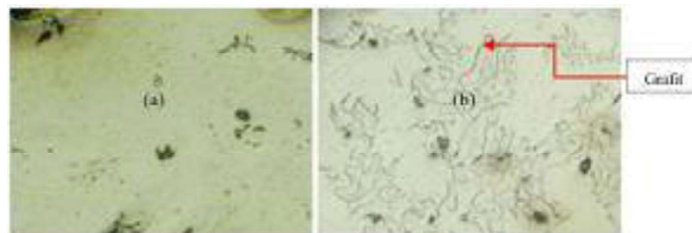


Gambar 10. Struktur mikro *camshaft* bagian tengah *cam lobe* (Non etsa, 200x) (a) *camshaft* baru,

(1) *camshaft* gagal.

Hasil pengamatan mikrografi tanpa etsa di bagian permukaan *cam lobe*, terdapat perbedaan antara *camshaft* gagal dan *camshaft* baru. Pada *camshaft* gagal terbentuknya grafit berbentuk *flake* pada struktur mikronya sedangkan pada *camshaft* baru tidak terbentuknya grafit atau tidak terjadinya grafitisasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar

3. Perbedaan struktur mikro tersebut disebabkan oleh perbedaan laju pendinginan (*cooling rate*) dan nilai *carbon equivalent* (CE). Dimana semakin rendah nilai *carbon equivalent* dan semakin cepat laju pendinginan cenderung akan menghasilkan struktur besi cor putih yang tidak memiliki grafit pada struktur mikronya.



Gambar 11. Struktur mikro *camshaft* bagian permukaan *cam lobe* (Non etsa, 200x), (a) *camshaft* baru,

2. *camshaft* gagal.

Hasil pengujian struktur mikro yang diperoleh dengan etsa menggunakan nital 2% menunjukkan bahwa komponen *camshaft* baru dan *camshaft* gagal di bagian tengah *cam lobe* memiliki jenis grafit yang sama namun adanya perbedaan yang terlihat pada matriksnya. *Camshaft* gagal cenderung membentuk struktur *ferritic grey cast iron* atau grafit dikelilingi matriks ferrite (putih) sedangkan *camshaft* baru cenderung membentuk struktur *pearlitic grey cast iron* atau grafit dikelilingi matriks pearlite (gelap).

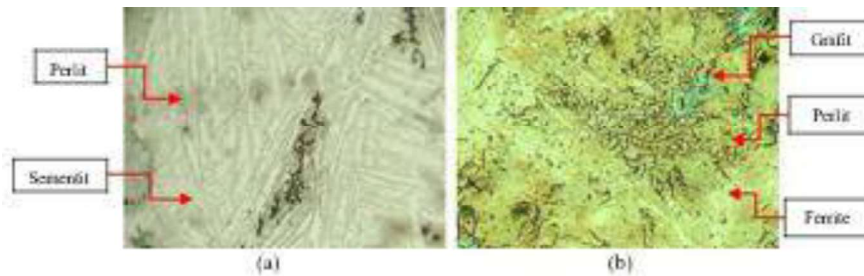
8 November 2017



Gambar 12. Struktur mikro *camshaft* bagian core cam (Etsa, 200x), (a) *camshaft* baru,

3. *camshaft* gagal.

Hasil pengujian *camshaft* baru di bagian permukaan *cam lobe*, tidak ditemukannya grafit dalam struktur mikronya atau tidak terjadinya grafitisasi, hal ini sama seperti yang ditunjukkan dari hasil pengujian tanpa etsa dan pada refrensi di bagian yang sama. Dimana terdapatnya matriks sementit (putih) yang mempunyai kekerasan yang tinggi dan memiliki sifat tahan aus (*wear resistance*) yang baik dan pada *camshaft* gagal pada bagian permukaan *cam lobe* ditemukan terdapatnya grafit pada struktur mikronya yang diikuti dengan matriks perlit (gelap).



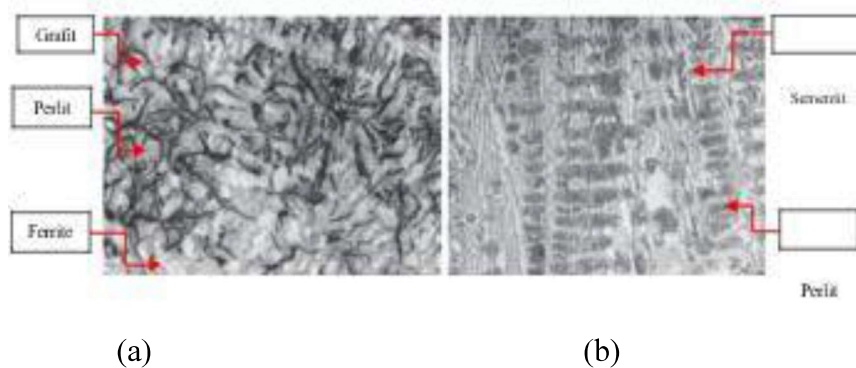
Gambar 12. Struktur mikro *camshaft* bagian *cam lobe* (Etsa, 200x), (a) *camshaft* baru,

4. *camshaft* gagal.

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa kekerasan pada *camshaft* baru lebih tinggi dikarenakan keberadaan matriks sementit dan tidak terbentuknya grafit pada struktur mikronya dan terbentuknya grafit pada *camshaft* gagal menyebabkan kekerasan pada material akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan laju pendinginan dan nilai *carbon equivalent* (CE) yang mempengaruhi sifat dan strukturnya. Gambar 13 menunjukkan hasil pengujian struktur mikro yang dilakukan oleh Yamagata pada komponen *camshaft* dibagian *cam lobe*. Hasil pengujian tersebut menjelaskan bahwa di bagian *cam lobe* terdapat dua jenis besi cor berdasarkan struktur mikronya. Terdapatnya struktur mikro besi cor putih seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 (b), struktur mikro tersebut terletak pada bagian permukaan *cam lobe* yang mempunyai kekerasan yang tinggi dan ketahanan aus yang baik dikarenakan

8 November 2017

terdapatnya matriks sementit dan terdapatnya struktur mikro besi cor kelabu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 (a), struktur mikro tersebut terletak pada bagian tengah (*core*) yang mempunyai sifat tangguh dikarenakan kehadiran matriks perlit.



Gambar 13. Hasil uji mikrografi, (a) Struktur mikro *camshaft* pembanding bagian *core cam*, (b) Struktur mikro *camshaft* pembanding bagian *cam lobe* [2].

4 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan keausan pada *camshaft* berbentuk lubang-lubang kecil (*micropitting*) pada permukaan *cam lobe*. Ketika dilakukan pengamatan pada *cross-section* bagian ausnya, terdapat *crack* yang menunjukkan ciri dari *fatigue wear*. Penyebab kegagalann *camshaft* sepeda motor 125 cc dikarenakan fenomena *fatigue wear* pada bagian permukaan *cam lobe* yang terjadi akibat tingginya *carbon equivalent* yang mengakibatkan sifat dan struktur material pada komponen *camshaft* tidak sesuai dengan standar yang seharusnya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi nilai *carbon equivalent* grafit berbentuk *flake* yang dihasilkan semakin banyak dengan matriks perlit. Komposisi kimia dengan CE 4,3 % merupakan komposisi terbaik, yakni memiliki nilai kekerasan dan struktur mikro yang telah memenuhi standar untuk komponen *camshaft*

REFERENSI

1. Wanjari, R. V and Parshivanikar, T. C. (2013) '*Failure of Camshaft*', International Journal of Innovative Technology & Exploring Engineering (IJITEE).
2. Yamagata, H. (2005) The science and technology of materials in automotive engines. England: Woodhead Publishing and Maney Publishing.
3. Geehan, J. A. M. and Ryason, P. R. (2000) '*Preventing Catastrophic Camshaft Lobe Failures in Low Emission Diesel Engines*', SAE International Journal.
4. Ping, L., Fengjun, L., Anke, C. and Bokang, W. (2009) '*Fracture analysis of chilled cast iron camshaft*', China Foundry Journal, Huazhong University of Science and Technology.
5. ASM team (2005) *ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection : Irons , Steels, and High Performance Alloys*, ASM International.
6. Sadino, Farid, M. and Triar, H. A. (2010) '*Pengaruh Karbon Dan Silikon (Carbon Equivalent) Terhadap Pembentukan Cacat Shrinkage Pada Proses Pembuatan Besi Cor Nodular FCD 450 (Produk Elastic Shoulder)*', Jurnal Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).