



Karakteristik dinamik *needle bearing* pada poros *camshaft* DOHC yang telah dimodifikasi dengan metode *bump test*

Muhamad Farel Gulang^{a,1}, Zakky Danial Haq^a, Hilman Alpiyanto^a, Subekti Subekti^a

^aJurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas MercuBuana, Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta Barat, 11650, Indonesia

¹E-mail: elangfarel13@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 01 Agustus 2020

Direvisi pada 01 Oktober 2020

Disetujui pada 16 Oktober 2020

Tersedia daring pada 15 November 2020

Kata kunci:

Karakteristik dinamik, DOHC, *camshaft*, *bump test*, modus getaran.

Keywords:

Dynamic characteristic, DOHC, *camshaft*, *bump test*, mode of vibration.

ABSTRAK

Mekanis sebuah katup sepeda motor yang menggunakan *double over head camshaft* (DOHC) memiliki kelebihan performa mesin yang lebih ringan, terutama pada putaran tinggi. Suzuki Satria Fu 150 merupakan salah satu sepeda motor yang menggunakan DOHC. Penelitian ini menfokuskan pada karakteristik dinamik pada *camshaft* Suzuki Satria Fu 150 terhadap sebelum dan setelah pemasangan *needle bearing*, dengan menggunakan metode *bump test*. Respon getaran diukur dengan menggunakan sensor *accelerometer* pada 48 titik, dengan rentang frekuensi adalah 1 – 20 kHz, yang dihubungkan dengan alat *FFT analyzer*. Hasil penelitian didapatkan modus getar *global* apabila posisi *cover* terpasang dan terlepas. Frekuensi pribadi yang terjadi pada 4 Hz, 8 Hz, 12 Hz, 16 Hz, 20 Hz, 24 Hz, 28 Hz, 40 Hz, 44 Hz, 52 Hz, 60 Hz, 68 Hz, 92 Hz, dan 100 Hz merupakan modus getar yang terjadi ketika *cover* terpasang, sedangkan modus *global* pada posisi *cover* terlepas diperoleh frekuensi pribadi sebesar 4 Hz, 8 Hz, 12 Hz, 16 Hz, 28 Hz, 32 Hz, 40 Hz, 44 Hz, 52 Hz, 68 Hz, 76 Hz, 84 Hz, dan 116 Hz. Selain itu, diperoleh adanya modus getar lokal pada frekuensi pribadi sebesar 111 Hz. Dengan metode FRF diketahui frekuensi pribadi pada poros *camshaft*, dimana hanya muncul satu kali, sedangkan frekuensi *global* merupakan frekuensi yang terjadi pada poros *camshaft* akan muncul permukaan dengan dan tanpa *cover*, baik dengan *bearing* atau tanpa *bearing*. Hal tersebut merupakan hal yang harus diperhatikan pada saat pengukuran karakteristik getaran ketika motor-torak dioperasikan.

ABSTRACT

The mechanic of a motorcycle valve that uses a double over head camshaft (DOHC) has the advantage of lighter engine performance, especially at high rotation. Suzuki Satria Fu 150 is a motorcycle that uses DOHC. This research focuses on the dynamic characteristics of the Suzuki Satria Fu 150 camshaft before and after installing the needle bearing, using the bump test method. Vibration response is measured using an accelerometer sensor at 48 points, with a frequency range of 1 - 20 kHz, which is connected to the FFT analyzer. The results showed that the global vibration mode is when the cover is attached and detached. Personal frequencies that occur at 4 Hz, 8 Hz, 12 Hz, 16 Hz, 20 Hz, 24 Hz, 28 Hz, 40 Hz, 44 Hz, 52 Hz, 60 Hz, 68 Hz, 92 Hz, and 100 Hz are vibrating modes what happens when the cover is attached, while the global mode in the cover position is detached, the personal frequency is 4 Hz, 8 Hz, 12 Hz, 16 Hz, 28 Hz, 32 Hz, 40 Hz, 44 Hz, 52 Hz, 68 Hz, 76 Hz, 84 Hz, and 116 Hz. Besides, there is a local vibration mode at a personal frequency of 111 Hz. With the FRF method, it is known that the personal frequency on the camshaft shaft, which only appears once, while the global frequency is the frequency that occurs on the camshaft shaft surface with and without cover, either with a bearing or without a bearing. This is something that must be considered when measuring the vibration characteristics when the piston motor is operated.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i2.8461>

1. Pendahuluan

Mekanisme sistem pembakaran pada motor-torak dibagi ke dalam sistem 4 tak dan 2 tak. Mesin pembakaran dengan sistem 4 tak, memiliki 4 langkah kerja untuk menghasilkan *output* berupa putaran *flywheel*, yang meliputi langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha dan langkah buang. Ketika berada pada



langkah hisap dan buang, maka ruang bakar harus berinteraksi dengan volume luar, karena terdapat proses pemasukan udara dan pembuangan gas sisa. Perlu dirancang sebuah katup untuk keluar masuk udara yang kita kenal dengan sistem katup. Mekanis sebuah katup motor torak dilihat dari konstruksinya dibagi ke dalam dua mekanisme yaitu *over head valve* (OHV) dan *double over head camshaft* (DOHC). Suzuki Satria Fu 150 menggunakan mekanisme katup DOHC, sehingga memiliki performa mesin yang lebih ringan, terutama pada putaran tinggi. Hal ini dikarenakan memiliki dua *camshaft* pada dua katup, baik katup yang mengatur bahan bakar masuk maupun mengatur keluaran gas buang. Selain itu, keuntungan sistem DOHC akan menyebabkan kerja mesin lebih ringan dalam menggerakkan *camshaft*. Pada poros *camshaft* Suzuki Satria Fu 150 bawaan pabrik tidak menggunakan bantalan (*bearing*), poros hanya dilumasi pelumas agar tidak terjadi gesekan antara poros dengan dudukan poros. Gesekan yang ditimbulkan akan mengakibatkan mesin DOHC akan cepat panas, sehingga untuk mengatasi gesekan yang ditimbulkan maka perlu dilakukan modifikasi poros *camshaft* dengan memasang *bearing*. Hal ini, disebabkan penggunaan *bearing* pada kendaraan bermotor sangat diperlukan untuk meminimalisir gesekan berlebihan ketika poros mengalami beban puntir.

Penggunaan *bearing* banyak digunakan pada kendaraan bermotor, khususnya kendaraan roda empat. *Bearing* biasanya ditempatkan pada ujung poros yang berputar untuk menahan beban radial dan beban ke arah kiri dan kanan [1]. Penggunaan *bearing* dengan jenis *needle roller bearing* akan mempengaruhi getaran yang ditimbulkan pada motor torak DOHC menjadi tujuan utama dalam penelitian ini. Metode pengukuran getaran yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode fungsi respon frekuensi (FRF) dengan kondisi tanpa dan menggunakan *cover*, serta pada kondisi setelah dan sebelum modifikasi *needle bearing* pada poros *camshaft* Suzuki Satria Fu 150 dilakukan. Selanjutnya, metode pengujian pada penelitian ini menggunakan *bump test*. Metode *bump test* merupakan salah satu metode pengujian getaran yang sangat cepat dan ekonomis untuk mengetahui modulus getaran sebuah struktur mesin.

Penelitian mengenai pengujian getaran dengan menggunakan metode *bump test* telah banyak dilakukan, seperti pemeriksaan pada bagian *end wall engine* baru mengalami kerusakan atau tidak. Pengujian *powertrain* pada sebuah silinder menggunakan metode FRF yang berasal dari dua gaya eksitasi, yaitu *impact hammer* dan *exciter* [2]. Identifikasi kerusakan pada *tapper bearing* dilakukan dengan pengujian FR, sedangkan gaya eksitasi menggunakan sinyal harmonik yang berasal dari *handphone* [3]. Selain itu, dalam mendeteksi kerusakan yang disebabkan terjadinya keretakan pada roda gigi dapat digunakan metode FRF [4]. Menurut Daniel *et al.* (2017), *tepered bearing* memberikan amplitudo getaran yang lebih tinggi dibanding *ball bearing* [5]. Pengujian getaran di Laboratorium Getaran Universitas Mercubuana telah banyak dilakukan baik pada sistem konstruksi maupun kendaraan. Pengujian FRF juga digunakan untuk mengetahui karakteristik dinamik pada mesin diesel satu silinder [6] dan *disc brake sagra* [7] sehingga diperoleh modulus getar *global* dan lokal. Selain itu, metode *bump test* dapat dilakukan untuk mengetahui kerusakan pada *disc brake sagra* [8]. Metode getaran dilakukan pada proses produksi untuk memprediksi kerusakan *end mill* pada mesin CNC [9]. Pada peralatan industri dilakukan analisis kerusakan pada *screw compressor* dengan menggunakan pengujian getaran memperlihatkan adanya kerusakan pada poros *screw* akibat *unbalance* [10]. Sedangkan pada elektronik dilakukan dengan melakukan pengujian pada *actuator* kendaraan untuk memprediksi kerusakan dengan pengujian getaran dengan metode *Hilbert transform* [11]. Metode FRF telah banyak dilakukan untuk memprediksi sebuah struktur, seperti mendeteksi kerusakan [12], keretakan [13] dan karakteristik dinamis pada struktur [14]. Selain itu, untuk mengetahui tingkat kenyamanan penumpang untuk mengurangi getaran yang berasal dari kerangka bus dilakukan dengan menggunakan metode FRF [15]. Hal ini yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian terkait karakteristik dinamik *needle bearing* pada *camshaft* DOHC Suzuki Satria FU 150 yang telah di modifikasi, dengan metode *bump test*.

2. Tinjauan Pustaka

Pada suatu sistem getaran dengan satu derajat kebebasan dengan redaman, apabila diberikan sebuah gaya eksitasi sebesar $F(t)$, seperti yang telah ditunjukkan oleh Subekti (2018) dan Effendi *et al.* (2019), akan memiliki persamaan gerak, seperti persamaan (1) [6-7].

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + kx = F(t) \quad (1)$$

Apabila ingin diketahui amplitudo simpangan x yang terjadi, maka perlu diketahui karakteristik besarnya x terhadap ω , sehingga persamaan (1) akan menjadi persamaan *magnitude* dan sudut *fase* sebagai berikut:

$$|H(\omega)| = \frac{1}{(k - m\omega^2) + i(c\omega)} \quad (2)$$

$$= \frac{1}{k \left[\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \right)^2 + \left(2\zeta \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right) \right)^2 \right]} \quad (3)$$

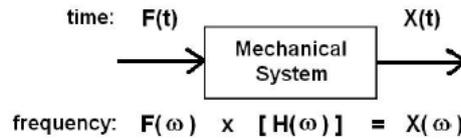
Sedangkan sudut *fase* adalah:

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{c\omega}{k - m\omega^2} \right) \quad (4)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{2\zeta \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2} \right) \quad (5)$$

Dari persamaan (2) dapat dikatakan bahwa fungsi respon frekuensi (FRF) merupakan suatu fungsi transfer, yang dapat dinyatakan dalam domain frekuensi. FRF merupakan suatu fungsi kompleks, dimana terdapat komponen riil dan imajiner. Hal ini akan dapat mewakili besarnya *magnitude* dan *fase* yang terjadi. Fungsi respons frekuensi dapat diperoleh dari data hasil pengujian yang dapat mengekspresikan respon struktural terhadap gaya yang diberikan

sebagai suatu fungsi frekuensi, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Respons dapat diberikan dalam hal perpindahan, kecepatan, atau percepatan. Gaya *input*, $F(\omega)$, sebagai fungsi dari frekuensi sudut ω , fungsi transfer, $H(\omega)$, dan fungsi respons perpindahan, $X(\omega)$. Setiap fungsi merupakan suatu fungsi bilangan kompleks, yang direpresentasikan dalam *magnitude* dan *fase*. Selain itu, setiap fungsi merupakan fungsi spektral. Gambar 1 lebih dikenal dengan sebutan transformasi *Fourier*.

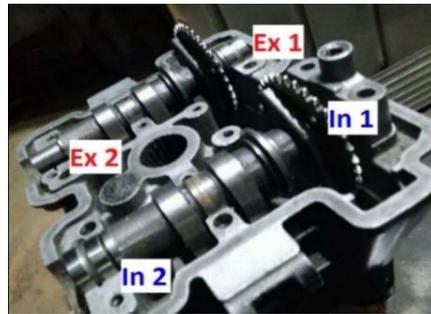


Gambar 1. Block diagram of FRF.

3. Metodologi Penelitian

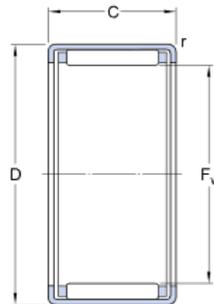
Metodologi yang penulis gunakan untuk pengambilan data adalah dengan melakukan pengujian langsung pada benda uji. Dengan menempatkan langsung *sensor accelerometer* pada titik uji pada permukaan motor torak. Alur dari penelitian ini yaitu dimulai dengan melakukan studi literatur, kemudian melakukan pengujian *bump test* dengan *FFT analyzer*. Setelah itu dilakukan pengolahan data menggunakan software Matlab. Jika terdapat *noise*, maka dilakukan kembali pengujian *bump test*, namun jika tidak terdapat *noise*, maka dilanjutkan pengolahan data dengan menggunakan *software statistik*. Langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis dan pembahasan dari hasil yang telah didapatkan.

Pengujian *bump test* pada motor torak dilakukan pada kondisi head terpasang tanpa *cover*. Pengukuran dilakukan pada bagian In 1 dengan sumbu X, Y, dan Z. Gambar 2 menunjukkan *head* Suzuki Satria Fu 150 yang digunakan dalam penelitian ini.



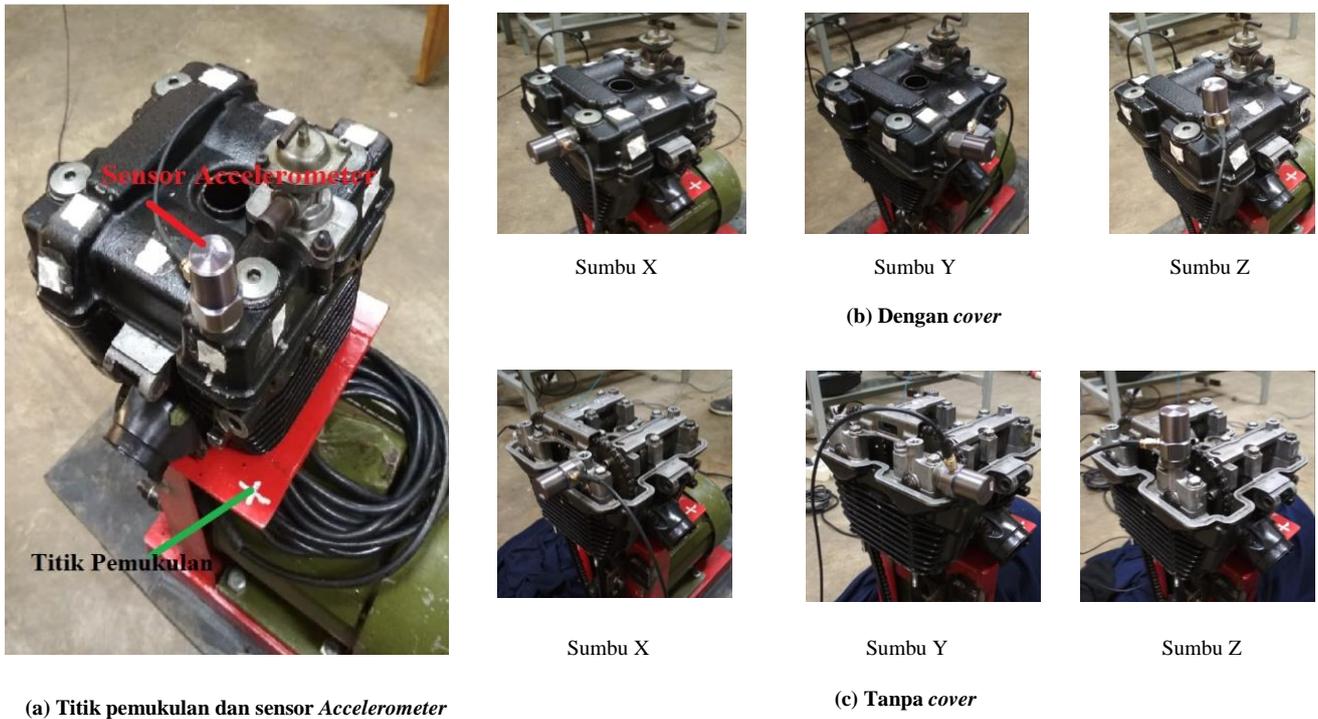
Gambar 2. Head Suzuki Satria Fu 150.

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian dengan metode FRF pada poros *camshaft* dengan *needle bearing* dan tanpa *needle bearing*. *Needle bearing* yang digunakan adalah seri HK1616. Adapun spesifikasinya yaitu: diameter luar (D)= 22 mm, diameter dalam (F_w)= 16 mm, dan Ketebalan (C)= 16 mm. Gambar 3 adalah ilustrasi *bearing* HK1616.



Gambar 3. Bearing HK1616.

Metode pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan memberikan gaya eksitasi berupa pemukulan dengan menggunakan palu pada titik tanda silang dan respon diukur dengan menggunakan sensor *accelerometer* yang terhubung dengan menggunakan *FFT analyzer*. Gambar 4(a) menunjukkan titik pemukulan (x) dan respon pengukuran dengan menggunakan *accelerometer*. Pengujian yang dilakukan akibat pemasangan *bearing* dan tanpa *bearing* dilakukan pada kondisi motor torak diam dan dengan kondisi dengan *cover* (Gambar 4(b)) dan tanpa *cover* (Gambar 4(c)). Penempatan sensor *accelerometer* dilakukan pada sumbu X, Y dan Z. Metode pengujian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Metode pengujian dengan dan tanpa *bearing* pada poros *camshaft* Suzuki Satria Fu 150.

Pada penelitian ini, rentang frekuensi pengukuran pada FFT *analyzer* dilakukan dengan rentang frekuensi sebesar 0 – 20000 Hz. Setelah struktur diberikan gaya eksitasi berupa pemukulan, maka sensor *accelerometer* mengukur respon getaran yang terjadi dan terbaca di FFT *analyzer*. Data hasil pengukuran pada FFT *analyzer* selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan menggunakan Matlab. *Set-up* pengujian pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5. Bahan yang digunakan pada penelitian ini ialah *cylinder head* Satria Fu 150 dengan poros *camshaft* yang telah dimodifikasi menggunakan *needle bearing*. Sedangkan alat yang digunakan yaitu seperangkat alat FFT *portable type analyzer* CF-3600A (4-ch) dengan layar sentuh yang memanfaatkan simulasi analisis dan perekam data. Maksimal frekuensi yang bisa dianalisis adalah 40 kHz *ono sokki Japan*. Palu karet digunakan sebagai *exciter*, sedangkan *software* MATLAB digunakan untuk mengolah data yang telah diukur dengan FFT *analyzer*. Alur proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.

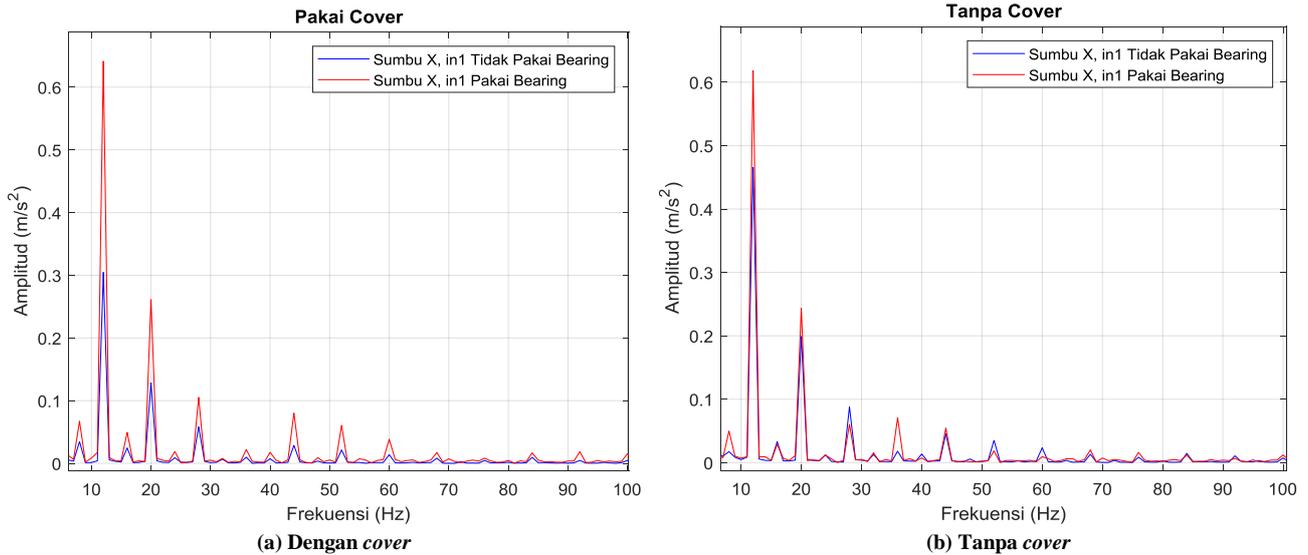


Gambar 5. *Set-up* pengujian.

4. Hasil dan Pembahasan

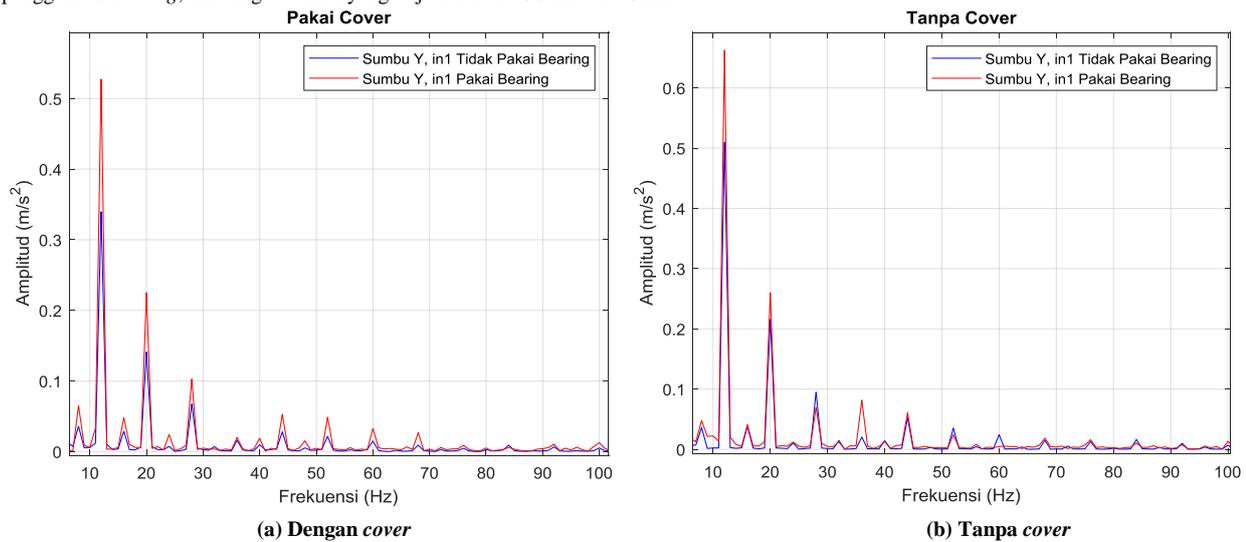
Semua Pengujian *bump Test* pada motor torak Suzuki Satria Fu 150 dibagi ke dalam tiga buah titik utama, yaitu titik X, Y dan Z dengan kondisi dengan *cover* dan tanpa *cover*. Selain itu, pengukuran getaran dilakukan dengan dan tanpa *bearing* pada kondisi dengan *cover* dan tanpa *cover*. Pada pengujian alat FFT *analyzer* di-*sett-up* menggunakan *window Hanning*. Banyaknya data sebanyak 4069 data dan rentang frekuensi yang digunakan 20000 Hz.

Hasil pengukuran pada sumbu X, dimana pada kondisi dengan *cover* dan tanpa *cover*, dengan pemasangan *bearing* dan tanpa *bearing* ditunjukkan pada Gambar 6. Kondisi dengan menggunakan *cover* menunjukkan bahwa jumlah frekuensinya lebih sedikit dibandingkan dengan tanpa *cover*. Amplitudo yang dihasilkan pun lebih tinggi menggunakan *cover* dibandingkan dengan tanpa *cover*. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan *cover* menimbulkan lebih banyak suara. Pada Gambar 6(a), dengan menggunakan *cover*, diperlihatkan bahwa frekuensi pribadi yang terjadi pada poros *camshaft* diperoleh modus getar lokal sebesar 32 Hz dan 80 Hz, sedangkan dengan pemasangan batalan pada poros *camshaft*, modus getar lokal yang terjadi pada frekuensi 132 Hz. Sedangkan tanpa *cover* menunjukkan bahwa modus getara lokal terjadi pada 60 Hz, 116 Hz, dan 124 Hz. Modus lokal tersebut terjadi pada poros *camshaft* tanpa *bearing*, seperti ditunjukkan pada Gambar 6(b). Gambar 6(b) dengan menggunakan *bearing* dihasilkan modus getar lokal yang terjadi sebesar 36 Hz dan 76 Hz.

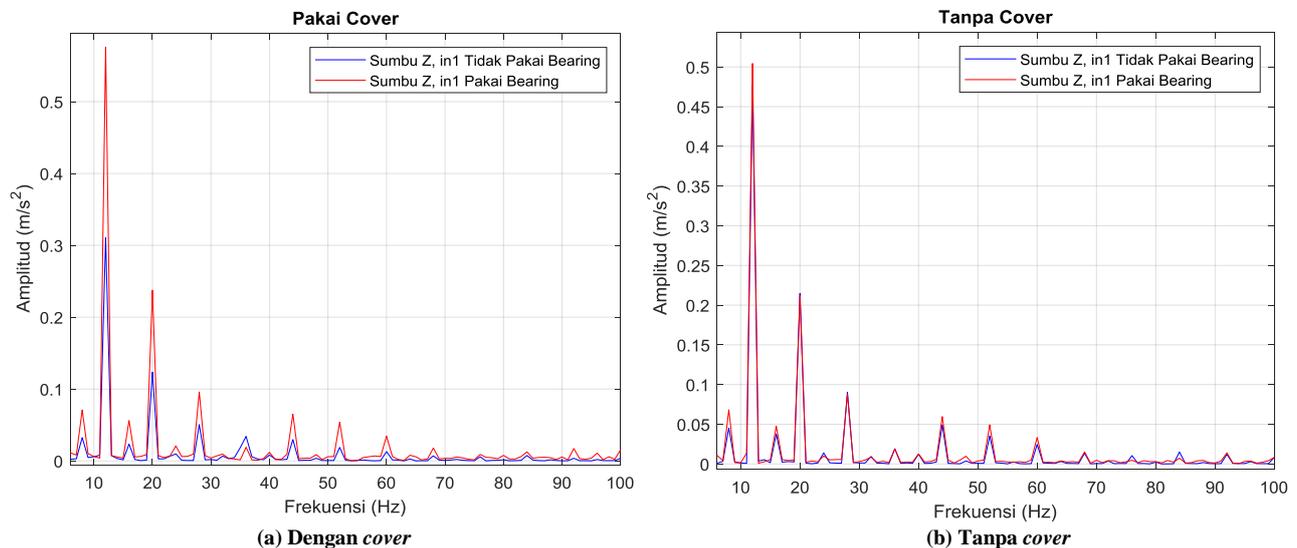


Gambar 6. Pengukuran pada sumbu X

Pada sumbu Y kondisi dengan menggunakan *cover* menunjukkan jumlah frekuensi lebih sedikit dibandingkan dengan tanpa *cover*. Amplitudo yang dihasilkan tidak jauh berbeda antara menggunakan *cover* dengan tanpa *cover* (Gambar 7). Dengan menggunakan *cover* diperlihatkan bahwa frekuensi pribadi yang terjadi pada poros *camshaft* diperoleh modulus getar lokal sebesar 56 Hz, sedangkan dengan pemasangan batalan pada poros *camshaft*, modulus getar lokal yang terjadi pada frekuensi 132 Hz, seperti ditunjukkan pada Gambar 7(a). Sedangkan tanpa *cover* menunjukkan bahwa modulus getara lokal terjadi pada 60 Hz, dan 92 Hz, modulus lokal tersebut terjadi pada poros *camshaft* tanpa *bearing*, seperti ditunjukkan pada Gambar 7(b). Pada Gambar 7(b) dengan penggunaan *bearing*, modulus getar lokal yang terjadi sebesar 36 Hz dan 76 Hz.



Gambar 7. Pengukuran pada sumbu Y



Gambar 8. Pengukuran pada sumbu Z

Hasil pengukuran pada sumbu Z, dimana pada kondisi dengan dan tanpa *cover*, dengan pemasangan dan tanpa *bearing* ditunjukkan pada Gambar 8. Kondisi dengan menggunakan *cover* menunjukkan bahwa jumlah frekuensi yang didapatkan lebih sedikit dibandingkan dengan tanpa *cover*. Amplitudo yang dihasilkan tidak jauh berbeda antara menggunakan *cover* dengan tanpa *cover*. Pada Gambar 8(a), dengan menggunakan *cover*, diperlihatkan bahwa frekuensi pribadi yang terjadi pada poros *camshaft* tidak ditemukan modus getar lokal. Hal ini berbeda dengan pemasangan batalan pada poros *camshaft*, dimana modus getar lokal yang terjadi pada frekuensi 24 Hz, 40 Hz, 48 Hz, 76 Hz, 92 Hz, 100 Hz, 116 Hz, dan 132 Hz. Sedangkan tanpa *cover* menunjukkan bahwa modus getaran lokal terjadi pada 24 Hz, 32 Hz, 40 Hz, 48 Hz, 56 Hz, 76 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 124 Hz, dan 132 Hz. Modus lokal tersebut terjadi pada poros *camshaft* tanpa *bearing*, seperti ditunjukkan pada Gambar 6(b). Pada Gambar 6(b), dengan penggunaan *bearing*, menghasilkan modus getar lokal yang terjadi sebesar 111 Hz.

Frekuensi pribadi yang diperoleh dari hasil pengukuran FRF pada penelitian ini, selanjutnya dibuat tabel untuk dapat mengelompokkan modus getar lokal dan modus getar *global* pada masing-masing kondisi yaitu, baik dengan *bearing* atau tanpa *bearing*. Hal ini dilakukan agar pada saat motor torak berotasi dapat diketahui frekuensi resonansi yang terjadi. Frekuensi pribadi yang terjadi pada kondisi dengan menggunakan *cover* pada poros *camshaft* dengan *bearing* dan tanpa *bearing* dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 didapatkan banyaknya modus getar *global* yang terjadi pada dan tanpa *bearing* pada frekuensi 4 Hz, 8 Hz, 12 Hz, 16 Hz, 20 Hz, 24 Hz, 28 Hz, 36 Hz, 40 Hz, 44 Hz, 48 Hz, 52 Hz, 60 Hz, 84 Hz, 92 Hz, dan 100 Hz. Sedangkan modus getaran lokal yang terjadi dengan *bearing* dan tanpa *bearing* terjadi pada frekuensi 32 Hz, 56 Hz, 80 Hz dan 116 Hz. Modus getaran *global* merupakan adanya frekuensi pribadi yang muncul lebih dari satu titik pengukuran yang berjauhan. Frekuensi pribadi yang terjadi pada kondisi tanpa *cover* pada poros *camshaft* dengan *bearing* dan tanpa *bearing* dapat dilihat pada Tabel 2. Pada Tabel 2 diperlihatkan banyaknya modus getar *global* yang terjadi dengan *bearing* dan tanpa *bearing* pada frekuensi 4 Hz, 8 Hz, 12 Hz, 16 Hz, 20 Hz, 24 Hz, 28 Hz, 36 Hz, 40 Hz, 44 Hz, 48 Hz, 52 Hz, 60 Hz, 84 Hz, 92 Hz, dan 100 Hz. Sedangkan modus getaran lokal yang terjadi dengan *bearing* dan tanpa *bearing* terjadi pada frekuensi 64 Hz, 80 Hz, 111 Hz dan 132 Hz.

Tabel 1. Frekuensi pribadi menggunakan *cover*.

Frekuensi pribadi ke-	Tanpa <i>bearing</i>			Pakai <i>bearing</i>		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	4	4	4	4	4	4
2	8	8	8	8	8	8
3	12	12	12	12	12	12
4	16	16	16	16	16	16
5	20	20	20	20	20	20
6	24	-	-	24	24	24
7	28	28	28	28	28	28
8	32	-	-	-	-	-
9	36	36	36	36	36	36
10	40	40	-	40	40	40
11	44	44	44	44	44	44
12	48	48	-	-	-	48
13	52	52	52	52	52	52
14	-	56	-	-	-	-
15	60	60	60	60	60	60
16	68	68	68	68	68	68
17	76	76	-	76	76	76
18	80	-	-	-	-	-
19	84	84	84	84	-	84
20	-	92	-	92	92	92
21	100	100	-	100	100	100
22	-	-	-	-	-	116
23	-	-	-	132	132	132

Tabel 2. Frekuensi pribadi tanpa *cover*

Frekuensi pribadi ke-	Tanpa <i>bearing</i>			Pakai <i>bearing</i>		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	4	4	4	4	4	4
2	8	8	8	8	8	8
3	12	12	12	12	12	12
4	16	16	16	16	16	16
5	20	20	20	20	20	20
6	24	24	24	24	24	-
7	28	28	28	28	28	28
8	32	32	32	32	32	-
9	-	36	36	36	36	36
10	40	40	40	-	40	40
11	44	44	44	44	44	44
12	48	48	48	-	-	-
13	52	52	52	52	52	52
14	-	56	56	-	56	-
15	60	60	60	-	-	60
16	-	64	-	-	-	-
17	68	68	68	68	68	68
18	-	72	72	-	-	-
19	-	76	76	76	76	-
20	-	-	80	-	-	-
21	84	84	84	84	84	-
22	92	92	92	-	-	92
23	100	100	100	100	100	-
24	108	108	-	108	-	-
25	-	-	-	-	-	111
27	116	116	116	-	116	116
28	124	124	124	-	-	-
29	-	-	132	-	-	-

Pada Tabel 1 dan 2 diperlihatkan bawah muncul frekuensi pribadi yang berkaitan dengan modus getar lokal, karena hanya muncul pada satu titik pengukuran. Sedangkan modus getar *global* muncul pada lebih dari satu titik pengukuran. Dengan metode FRF, frekuensi pribadi pada poros *camshaft* hanya muncul satu kali, sedangkan frekuensi *global* merupakan frekuensi yang terjadi pada poros *camshaft* akan muncul permukaan dengan *cover* dan tanpa *cover* baik dengan *needle bearing* atau tanpa *bearing*. Hal ini harus diperhatikan pada saat pengukuran karakteristik getaran ketika motor-torak dioperasikan.

5. Kesimpulan

Hasil pengujian karakteristik dinamik pada poros *camshaft* sebelum dan setelah modifikasi menggunakan *needle bearing* dengan atau tanpa *cover*, menunjukkan bahwa terdapat frekuensi pribadi yang muncul lebih dari satu titik pengukuran. Hal ini menunjukkan adanya modus getar *global*. Selain itu, terdapat adanya modus getar *global* terjadi pada frekuensi pribadi pada pengujian sebelum dan setelah pemasangan *needle bearing* dengan atau tanpa *cover* yaitu 4Hz, 8Hz, 12Hz, 16Hz, 20Hz, 28Hz, 36Hz, 40Hz, 44Hz, 52Hz, 68Hz, 76Hz, 84Hz, dan 100Hz. Pada pengujian FRF, pengukuran getaran terjadi pada poros *camshaft*, khususnya pada komponen motor torak pada saat terjadinya proses pembakaran. Penelitian ini, dapat dilanjutkan dengan proses operasi dengan berbagai putaran motor torak dan dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* Ansys. Selain itu, dapat dilakukan sebagai dasar dari monitoring *vibration* pada motor torak.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada Kaprodi dan Kalab Teknik Mesin Universitas Mercubuana yang telah memberikan fasilitas selama kami melakukan penelitian serta selalu mensupport agar terlaksananya penelitian ini, serta kepada semua pihak yang tidak bisa kami sebutkan namanya satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zoupas, L., Wodtke, M., Papadopolulos, C. I., & Wasilczuk, M. (2019). Effect of manufacturing errors of the pad sliding surface on the performance of the hydrodynamic thrust bearing. *Tribology International*, vol. 134, pp. 211-220.
- [2] Delprete, C., Galeazzi, A., & Pregno, F. (2010). Experimental modal analysis of an automotive powertrain. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 24-25, pp. 71-76.
- [3] Susanto, A., Yusuf, S. Q., Hamid, A., Wahyudi, H., & Subekti, S. (2019). Implementation of frequency response function on taper bearing maintenance. *Sinergi*, vol. 23, no. 2, pp. 132-138.
- [4] Mohammed, O. D., & Rantatalo, M. (2016). Dynamic response and time-frequency analysis for gear tooth crack detection. *Mechanical System and Signal Processing*, vol. 66-67, pp. 612-624.
- [5] Daniel, R. V., Siddhappa, S. A., Gajanan, S. B., Philip, S.V., & Paul, P. S. (2017). Effect of bearing on vibration in rotating machinery. *ICMAEM 2017, IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 225(1):012264.
- [6] Subekti. (2018). Studying the dynamic characteristics to lengthen the operating life for a diesel engine using frequency response function (FRF) measurement. *Sinergi*, vol. 22, no. 3, pp. 161.
- [7] Effendi, B. D., Subekti & Hamid, A. (2019). Karakteristik dinamik disc brake daihatsu Siga 1200 cc dengan metode bump test. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, vol. 5, no. 1, pp. 14-19.
- [8] Subekti, Hamid, A., Effendi, B. D., & Biantoro, A. W. (2019). Inspecting a bump test in the maintenance of a 1200-cc Daihatsu Siga disc brake. *Sinergi*, vol. 23, no. 3, pp. 191-198.
- [9] Biantoro, A. W., Maryanto, H., Hidayanto, A. K., & Hamid, A. (2020). The investigation of end mill feeds on CNC router machine using vibration method. *SINERGI*, vol. 24, no. 2, pp. 117-124. doi: 10.22441/sinergi.2020.2.005
- [10] Sangian, H., Rahman, D. A., Rudiwanto, Subekti, & Hamid, A. (2020). Analisis getaran pada screw compressor akibat pengaruh putaran rotor. *Rekayasa Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 267 – 275. doi: 10.21776/ub.jrm.2020.011.02
- [11] Subekti, S., Hidayat, M. N., Efendi, B. D., Hamid, A., & Murwanto, A. (2020). Hilbert transform analyzer for mechanical fault detection of vehicle alternators. *Automotive Experiences*, vol. 3, no. 3, pp. 89-95. doi: 10.31603/ae.v3i3.3834
- [12] Homaei, F., Shojaee, S., & Ghodrati, A. G. (2015). Multiple structural damage detection using measured frequency response function. *Iranian Journal of Structural Engineering*, vol. 2, no. 1.
- [13] Lin, R. M. (2016). Modeling, detection, and identification of flexural crack damage in beam using frequency response function. *Meccanica*, vol. 51, no. 9, pp. 2027-2044.
- [14] Ghatwai, A. B., Chaitanya, P. S. V., & Phadke, S. B. (2016). Frequency response function measurements of disc and drum brake with its verification by CAE. *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 5, pp. 2223-2228.
- [15] Dahil, L., Karabulut, A., & Ucan, O. N. (2016). Investigation of vibration damping in passenger seat constructions. *International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 1117-1122.