

DETEKSI KERUSAKAN RING PISTON PADA MESIN EMPAT LANGKAH MELALUI PENGUKURAN SINYAL GETARAN

Kamega Sulistiyana¹, Zainal Arifin², Didik Djoko Susilo²

¹Program Sarjana – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

Vibration signal
Signal energy
Fault detection
Piston ring
Four-stroke engine

Abstract :

The purpose of this study is to develop the piston ring damage detection technique using vibration analysis. Vibration analysis was performed by measuring vibration in four stroke engine which were worn and scratched on its piston ring, then compare it with the vibrations generated by engine which had a good conditions. Tests carried out on engine revolution of 750, 1500, and 2250 rpm, where the sensor were placed on the cylinder head and cylinder block. Vibration measurement produced a signal in the time domain, which then be analysed their signal energy with the aid of Matlab software.

Result of the research showed that the vibration signal energy decrease in all of the strokes of the defect piston ring. It was caused by the pressure of the defect piston ring smaller than the good piston ring's. The decrease of vibration signal energy in suction and compression stroke were greater than the power and exhaust stroke. Indication of piston ring defect could be shown from the decrease in the vibration signal energy in all of the strokes.

PENDAHULUAN

Ring piston kompresi merupakan komponen mesin yang sangat penting peranannya. Apabila ring piston mengalami kerusakan maka akan menyebabkan kebocoran gas sehingga tenaga mesin menjadi berkurang. Selain itu oli akan masuk dan bercampur ketika proses pembakaran yang dapat mengakibatkan kegagalan mesin. Untuk mencegah hal tersebut terjadi maka dibutuhkan suatu tindakan untuk mendeteksi kerusakan ring piston tanpa melakukan pembongkaran.

Terdapat beberapa metode untuk deteksi kerusakan yang dapat diterapkan untuk perawatan suatu mesin, salah satu metode tersebut adalah metode analisa getaran. Melalui analisa getaran dapat dilihat karakteristik getaran yang terjadi pada ring piston ketika mengalami kerusakan, kemudian membandingkannya dengan karakteristik getaran yang terjadi pada ring piston kondisi baik. Jika suatu mesin mengalami kerusakan pada komponennya maka akan menghasilkan penurunan amplitudo dan mempunyai periode yang lama. Hal inilah yang dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi kerusakan ring piston.

Douglas, R.M, dkk., (2006), meneliti tentang hubungan antara ring piston kapal dan silinder liner pada rangkaian sebuah mesin diesel dengan menggunakan sinyal suara. Penelitian ini membahas mekanisme yang mungkin sumber dari sinyal suara seperti kontak piston dan liner, aliran pelumas, serta tekanan balik udara. Metode ini diuji pada 2 mesin diesel kecil dan 1 mesin diesel besar. Sistem data akuisisi digunakan pada serangkaian tes mesin diesel ini. Penambahan encoder poros diperlukan untuk

mengetahui sudut engkol dan posisi piston. Untuk mesin diesel kecil, timbulnya sinyal suara sebanding dengan kecepatan piston ketika silinder mengalami peningkatan tekanan. Gesekan yang bekerja pada ring oli adalah yang paling mungkin menimbulkan suara. Kompresi yang diberikan oleh tekanan ring piston pada silinder ditemukan sebagai sumber suara pada mesin 2 langkah, dan kecepatan piston merupakan faktor yang mempengaruhi amplitudo suara.

Penelitian Klinchaeam, dkk., (2009) dengan metode time domain dan crank angle domain digunakan untuk menganalisa getaran mekanik dari mesin bensin 4 langkah 100 cc dan aliran fluida pada siklus mesin. Sinyal getaran terdeteksi menggunakan accelerometer dan sinyal titik mati atas dideteksi dengan menggunakan sensor proximity diberikan satu pulsa per putaran crankshaft. Mesin bensin dijalankan pada kecepatan normal 1500 rpm, dengan variasi kesalahan celah klep masuk dan buang serta kondisi kesalahan celah busi. Celah katup masuk yang lebih kecil dibanding celah normal, akan menghasilkan amplitudo pada intake valve open yang kecil sehingga sulit untuk diidentifikasi. Celah katup buang yang kecil menghasilkan sinyal penutupan katup menjadi tidak jelas.

Pada penelitian ini juga disebutkan bahwa kebocoran gas akan menghasilkan periode yang besar dan mengalami penurunan amplitudo. Kekasaran atau gesekan akan menghasilkan noise getaran dengan amplitudo yang kecil. Sinyal getaran dapat digunakan untuk mendeteksi proses operasi dalam siklus mesin. Rekaman sinyal getaran yang mempunyai amplitudo tinggi tercatat dari ledakan

kedua (langkah buang) dan berhubungan dengan proses aliran mekanik serta *fluida* dalam siklus mesin.

Penelitian Klinchaeam dan Nivesransan (2010) mengkaji penggunaan teknik pemantauan mesin bensin silinder tunggal empat langkah. Analisa getaran pada time domain, crank angle domain dan energi sinyal digunakan untuk memantau berbagai kerusakan mesin. Sinyal getaran dan sudut engkol digunakan untuk memantau mekanisme katup serta penyalaan busi dalam siklus mesin. Katup masuk membuka dan katup masuk menutup mempunyai energi yang besar apabila celah katupnya lebih besar dibanding normalnya. Selain itu nilai energi *intake valve close* lebih besar dibanding *intake valve open*. Untuk katup buang, besarnya energi ketika proses katup buang membuka dan menutup ternyata juga sebanding dengan besarnya celah katup. Dengan menggunakan analisa energi, maka dapat menggambarkan siklus empat langkah dari “*windowing*” pada sinyal getaran sehingga kondisi mesin dapat diidentifikasi dengan mudah.

Kerusakan ring piston bisa dikarenakan beberapa macam sebab sebagai berikut:

1. Kekurangan oli.
2. Kotoran pada silinder yang menyebabkan panas setempat.
3. Pengendapan kotoran pada alur piston.

Prinsip dasar dari mesin bolak balik adalah campuran udara dan bensin diinjeksikan ke dalam silinder, campuran ini akan dibakar menggunakan busi untuk meledaknya, gaya pembakaran yang terjadi mendorong piston bergerak secara berulang ulang (*reciprocal*), dan pergerakan ini diubah menjadi gerakan memutar oleh *crankshaft*.

Cara kerja dari mesin 4 langkah yaitu ketika piston berada pada posisi atas, *intake valve* membuka. Seiring dengan piston bergerak turun, campuran bahan bakar diinjeksikan kedalam silinder dan kemudian katup masuk menutup (langkah hisap). Selanjutnya, piston akan bergerak ke atas untuk mengompresikan campuran gas tersebut (langkah kompresi). Kemudian, campuran bahan bakar dan udara yang terkompresi dibakar menggunakan sistem pengapian elektrik. Gas yang terbakar mempunyai tekanan dan temperatur tinggi sehingga akan menekan piston bergerak turun (langkah pembakaran). Pada saat posisi piston di bawah, *exhaust valve* akan membuka untuk membuang gas yang terbakar, kemudian piston akan bergerak ke atas menekan keluar sisa gas pembakaran (langkah buang). Langkah tersebut di atas akan terus berulang.

Diantara keempat langkah tersebut, hanya pada saat langkah pembakaranlah mesin dapat menghasilkan tenaga. Maka dari itu dibutuhkan tambahan gaya untuk memasukan mengeluarkan gas serta mengompresikan campuran bahan bakar pada langkah kompresi. Untuk mendapatkan tambahan gaya tersebut maka dipasang *flywheel* pada

crankshaft dengan memanfaatkan gaya inersia untuk menjaga terjadinya gerakan memutar terus menerus. Gambar 1 merupakan skema dari siklus empat langkah.



Gambar 1. Siklus empat tak.

Getaran adalah gerakan bolak balik yang melewati suatu titik tetap. Jika suatu massa digerakkan, maka benda tersebut akan bergerak keatas dan ke bawah secara berulang diantara batas atas dan bawah. Gerakan massa dari posisi awal menuju atas dan bawah lalu kembali keposisi semula, dan akan melanjutkan gerakannya sehingga disebut sebagai satu siklus getar. Waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus disebut sebagai periode getaran. Jumlah siklus pada suatu selang waktu tertentu disebut sebagai frekuensi getaran. Sedangkan Amplitudo adalah jarak terjauh simpangan dari titik keseimbangan.

Energi sinyal adalah energi terbatas dari suatu sinyal, atau dengan kata lain memenuhi $0 < E < \infty$. Energi total dari sinyal waktu-kontinu merupakan integral dari daya sesaat, yaitu :

$$E_s = \int_0^t x^2(t) dt \quad (1)$$

Energi sinyal diperoleh dengan mengaplikasikan metode numerik dari aturan trapesium untuk mengevaluasi daerah di bawah sinyal. Dimana $x(t)$ adalah sinyal domain waktu dan t adalah waktu.

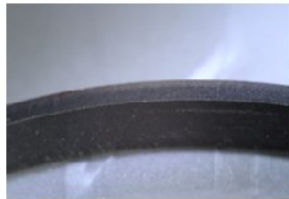
METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dari penelitian ini terdiri dari :

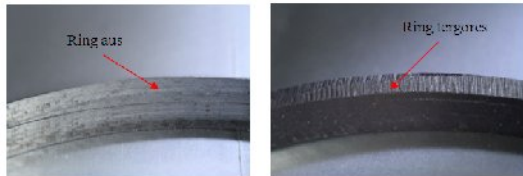
- a. Mesin Honda C70
- b. Motor listrik tiga phase
- c. Inverter tiga phase
- d. Ring piston kondisi baik
- e. Ring piston kondisi aus
- f. Ring piston kondisi tergores
- g. Piezoelectric Accelerometer
- h. Proximity probe
- i. Digital Storage Oscilloscope (DSO)
- j. Tachometer
- k. Komputer

Gambar 2. Sensor *accelerometer*.Gambar 3. Sensor *proximity*.

Gambar 4. DSO.



Gambar 5. Kondisi ring piston baik.



Gambar 6. Kondisi ring piston aus dan tergores.

Desain Experimen

Desain awal penelitian ini adalah membuat instalasi mesin honda C70 sesuai dengan fungsinya yang digerakkan melalui motor listrik. Fungsinya yaitu komponen-komponen mesin dapat beroperasi secara normal, akan tetapi tanpa diberi beban atau dalam posisi gigi netral. Variasi yang dilakukan yaitu kerusakan pada ring piston kompresi dan putaran mesin. Kerusakan yang terjadi pada ring piston adalah kerusakan aus dan tergores.

Pelaksanaan penelitian ini dapat dibagi dalam beberapa tahap. Secara umum tahapannya adalah persiapan mesin dan ring, *setting* pengujian, pengambilan data. Dengan penjelasan sebagai berikut:

a. Tahap persiapan mesin dan ring

Dalam penelitian ini, mesin digerakkan dengan motor listrik dan dalam kondisi tanpa beban atau gigi netral. Persiapan mesin dan ring adalah sebagai berikut :

1. Mengeluarkan oli mesin.
2. Menyiapkan ring piston yang akan diteliti, dari kondisi ring piston baik, aus dan tergores.
3. Membongkar dan memasang ring piston pada mesin. Ring piston yang dipasang dimulai dengan kondisi yang baik.

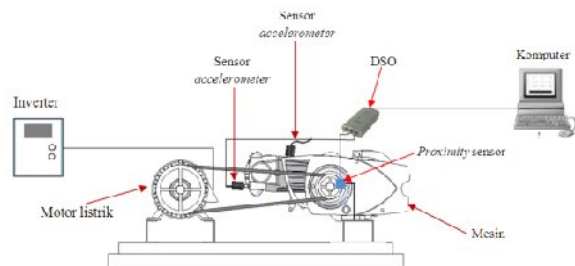
b. *Setting* alat uji getaran

1. Memasang mesin dan motor listrik pada pondasi (stand). Mur dan baut pada masing masing alat tersebut diperiksa kekencangannya.
2. Setting kelurusan pully motor listrik dan mesin.
3. Menghubungkan mesin dan motor listrik dengan V belt.
4. Menghubungkan inverter dan motor listrik

c. Tahap pengambilan data

Setelah alat uji disiapkan, langkah selanjutnya adalah pengambilan data. Pengujian yang pertama dengan pengukuran sinyal getaran pada ring piston kondisi baik, pengujian kedua dengan pengukuran ring piston kondisi aus dan ketiga pada ring piston tergores. Semua itu diuji pada putaran rendah (750 rpm), menengah (1500 rpm), tinggi (2250 rpm). Ketiga tahap pengujian tersebut adalah sama, yaitu :

1. Memasang accelerometer pada kepala silinder.
2. Memasang sensor proximity pada dudukan dan menghadap ke puli mesin.
3. Menghubungkan sensor sensor tersebut ke DSO kemudian diteruskan ke komputer.
4. Menghidupkan motor listrik.
5. Mengatur putaran motor listrik dengan inverter.
6. Mengukur putaran mesin dengan menggunakan tachometer.
7. Merekam data sinyal getaran mesin pada putaran rendah, menengah dan tinggi dengan komputer.
8. Menyimpan file data DSO.
9. Memasang accelerometer pada blok silinder, kemudian melakukan langkah yang sama seperti di atas.



Gambar 7. Skema proses pengambilan data.

Tahap Pengolahan Data

Pada tahapan ini, data yang direkam oleh DSO akan diproses menggunakan program MATLAB dengan algoritma sebagai berikut:

1. Load data DSO.
2. Menentukan deklarasi konstanta yang sudah diketahui, seperti T dan fs.
3. Menentukan posisi 0^0 pada crank angle domain.
4. Melakukan proses energi sinyal sesuai persamaan.
5. Menjumlahkan besarnya energi yang diperoleh.
6. Plot data *output*.

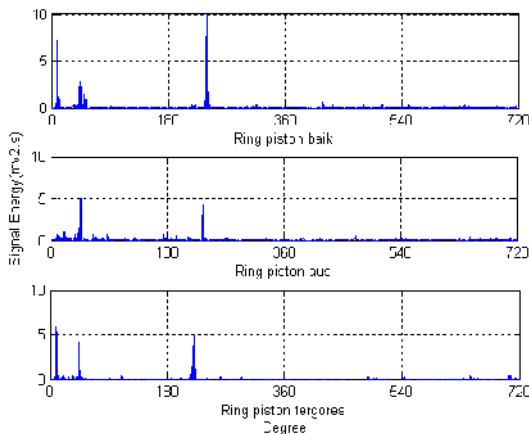
Setelah data grafik didapatkan maka tahap selanjutnya melakukan analisa terhadap grafik tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis energi sinyal.

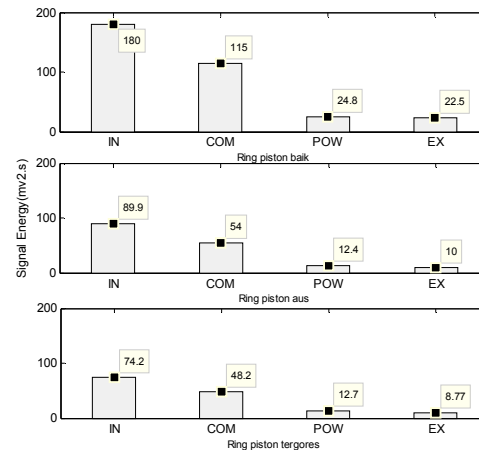
Dari hasil pengukuran getaran pada mesin honda C70 dengan berbagai kondisi ring piston dan posisi letak sensor accelerometer, diketahui pengukuran getaran efektif dilakukan pada putaran 750 rpm dan letak sensor pada kepala silinder.

Impak komponen mekanik seperti penutupan katup menghasilkan amplitudo getaran yang tinggi sehingga sumber getaran yang terekam lebih jelas. Energi yang dihasilkan pada kondisi ini bisa mewakili keadaan ring piston mesin yang sebenarnya.



Gambar 8. Energi sinyal putaran 750 rpm dengan letak sensor pada kepala silinder untuk ketiga kondisi ring piston.

Gambar 8 menunjukkan energi sinyal pada berbagai kondisi ring piston, dengan variasi kecepatan putar serta letak sensor pada kepala silinder dan blok silinder. Energi sinyal diambil dari nilai amplitudo yang positif, kemudian dimasukkan ke persamaan (1.1) dan hasilnya di plot terhadap sudut putar poros engkol.



Gambar 9. Total energi sinyal getaran putaran 750 rpm dengan letak sensor pada kepala silinder untuk ketiga kondisi ring piston.

Dari Gambar 9 diketahui bahwa untuk kondisi ring piston baik, energi yang diperoleh pada langkah hisap sebesar $180 \text{ mv}^2.\text{s}$, langkah kompresi $115 \text{ mv}^2.\text{s}$, langkah tenaga $24,8 \text{ mv}^2.\text{s}$ dan langkah buang $22,5 \text{ mv}^2.\text{s}$. Kondisi ring piston aus terjadi penurunan energi pada semua langkah. Untuk langkah hisapnya menjadi $89,9 \text{ mv}^2.\text{s}$, langkah kompresi $54 \text{ mv}^2.\text{s}$, langkah tenaga $12,4 \text{ mv}^2.\text{s}$, langkah buang $10 \text{ mv}^2.\text{s}$. Kondisi ring piston tergores juga mengalami penurunan energi semua langkahnya, pada langkah hisap menjadi $74,2 \text{ mv}^2.\text{s}$, langkah kompresi $48,2 \text{ mv}^2.\text{s}$, langkah tenaga $12,7 \text{ mv}^2.\text{s}$, langkah buang $8,77 \text{ mv}^2.\text{s}$.

Penurunan energi ini dapat mengindikasikan ring piston mengalami kerusakan. Artinya pada putaran 750 rpm dengan letak sensor pada kepala silinder telah memberikan informasi yang cukup untuk mendeteksi kerusakan ring piston aus dan tergores.

b. Pembahasan.

Setelah dilakukan analisa energi sinyal getaran, kondisi ring piston aus dan tergores mempunyai energi yang lebih rendah dibanding ring piston baik. Hal ini terjadi karena ring kompresi sebenarnya berfungsi sebagai perapat untuk mencegah udara atau gas dalam ruang pembakaran masuk ke bak mesin. Apabila ring kompresi mengalami kerusakan akan menyebabkan kebocoran gas, sehingga tekanan yang dihasilkan dalam silinder menjadi turun. Kebocoran gas biasanya mempunyai periode yang lama dan menghasilkan penurunan amplitudo seperti yang diutarakan klinchaeam dan nivesransan pada tahun 2009. Tekanan yang turun akan menyebabkan gaya kompresi piston turun, sehingga amplitudo dan energi sinyal getaran yang diperoleh akan rendah.

Penurunan energi dapat dilihat pada gambar 9. Pada langkah hisap, terjadi penurunan energi yang lebih besar dibanding langkah yang lain. Untuk ring piston kondisi baik energi yang didapat $180 \text{ mv}^2.\text{s}$, ketika ring piston mengalami aus energinya turun

menjadi $89,9 \text{ mv}^2 \cdot \text{s}$ dan pada ring piston tergores $74,2 \text{ mv}^2 \cdot \text{s}$. Hal ini disebabkan karena adanya dampak dari penutupan katup buang. Tumbukan katup dengan kepala silinder akan menghasilkan kenaikan tajam amplitudo getaran seperti yang diutarakan klinchaeam dan Nivesrangan pada tahun 2010. Selain itu, dipengaruhi juga adanya perubahan mekanik ketika pembukaan katup masuk, sehingga energi sinyal getaran yang didapat semakin besar. Untuk langkah kompresi energi yang dihasilkan ring piston baik sebesar $115 \text{ mv}^2 \cdot \text{s}$, sedangkan ring piston aus $54 \text{ mv}^2 \cdot \text{s}$ dan ring piston tergores $48,2 \text{ mv}^2 \cdot \text{s}$. Penurunan energi yang diperoleh langkah kompresi ternyata lebih kecil dibanding langkah hisap, akan tetapi masih lebih besar dibanding langkah tenaga dan buang. Pada langkah ini hanya terjadi proses penutupan katup masuk yang besarnya energi sinyal getaran tidak terlalu tinggi.

Pada langkah tenaga energi yang didapat ring piston kondisi baik $24,8 \text{ mv}^2 \cdot \text{s}$, sedangkan ring piston kondisi aus $12,4 \text{ mv}^2 \cdot \text{s}$ dan kondisi ring piston tergores $12,7 \text{ mv}^2 \cdot \text{s}$. Penurunan energi pada langkah ini lebih kecil dibanding langkah hisap dan kompresi, karena hanya terjadi pembukaan katup buang yang besarnya amplitudo getaran tidak terlalu signifikan. Untuk langkah buang energi kondisi ring piston baik $22,5 \text{ mv}^2 \cdot \text{s}$, ring piston aus 10 mv^2 dan ring piston tergores $8,77 \text{ mv}^2 \cdot \text{s}$. Pada langkah ini penurunan energi yang diperoleh lebih kecil dibanding langkah-langkah yang lain. Hal ini dikarenakan tidak adanya pengaruh dari proses mekanik katup. Melalui analisa energi dapat diidentifikasi apabila ring piston mengalami kerusakan maka akan terjadi penurunan energi sinyal getaran pada semua langkah.

Berdasarkan hasil pengujian getaran, maka dapat diketahui untuk *condition monitoring* ring piston efektif dilakukan pada putaran rendah dengan letak sensor di kepala silinder. Sinyal yang terekam pada putaran rendah mengurangi munculnya noise dari komponen lain. Penurunan energi sinyal getaran pada setiap langkah terlihat jelas, sehingga dapat mengindikasikan sebagai kerusakan pada ring piston. Untuk menghubungkan sinyal yang terekam dengan keadaan mesin akan lebih mudah dilakukan, karena dampak penutupan katup menghasilkan amplitudo getaran yang tinggi. Pemantauan kondisi ring piston pada mesin empat langkah harus dibutuhkan juga tentang pemahaman siklus mesin serta komponen-komponen yang beroperasi.

KESIMPULAN

Dari analisa data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisa energi sinyal getaran dapat digunakan untuk pemantauan kondisi ring piston mesin empat langkah satu silinder.
2. Ring piston aus dan tergores mengakibatkan penurunan energi sinyal getaran.

3. Pengukuran getaran untuk pemantauan ring piston mesin empat langkah satu silinder efektif dilakukan pada putaran rendah dan letak sensor pada kepala silinder.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, K., 2007, *Deteksi Kerusakan Bearing menggunakan Sinyal Getaran*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret.
- Arends, B.P.M., and Berenschot, H., 1980, *Motor Bensin*, Erlangga, PT. Gelora Aksara Pratama.
- Dougllass R.M., 2007, *Monitoring of the piston ring-pack and cylinder liner interface in diesel engines through acoustic emission measurements*, School of Engineering and Physical Sciences, Heriot-Watt University.
- Dougllass R.M., Steel, J.A., Reuben R.L., 2006, *A study of the tribological behaviour of piston ring/cylinder liner interaction in diesel engines using acoustic emission*, Tribology International 39 (2006) 1634–1642.
- Fauzi, A.F., 2012, *Penggunaan aturan trapezoidal (aturan trapesium) dan aturan simpson sebagai hampiran dalam integral tentu*.
- Gunawan, D., dan Juwono, H, F., 2012, *Pengolahan Sinyal Digital dengan Pemrograman Matlab*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Hidajat.R.L.G., 2009, *Perawatan Prediktif Penerapan Getaran Mekanis*, LPP UNS dan UNS Press, Surakarta.
- Honda Motor.Co.Ltd., 1981, *Honda Shop Manual C70*, Japan.
- Khurmi R.S., and Gupta J.K., 2005, *Machine Design*, Eurasia Publishing House (PVT.) LTD, New Delhi.
- Klinchaeam, S., and Nivesrangan, P., 2010, *Condition monitoring of valve clearance fault on a small four strokes petrol engine using vibration signals*, Songklanakarin J. Sci. Technol.32 (6), 619-625.
- Klinchaeam, S., Nivesrangan, P., and Lokitsangthong, Ming., 2009, *Condition Monitoring of a Small Four-stroke Petrol Engine using Vibration Signals*, KMITL Sci. Tech. J. Vol. 9 No. 1.
- Mobley R.K., 2002, *An introduction to predictive maintenance 2nd ed*, Elsevier Science, USA.
- Sunarko, K, B., 2010, *Analisa Getaran Pada Mesin Kendaraan Bermotor Berbasis Labview*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
- Waldhauer, B., Schilling, U., Schnaibel, S., and Szopa, J., 2004, *Piston Damages*, Motor Service International GmbH, Germany.
- Yamaha Motor, 2000, *Motorcycle Service Engineering General*.