

# ANALISIS RESPON SISTEM GETARAN PADA MESIN TORAK

Riri Sadiana<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Mesin - Universitas Islam "45" Bekasi, email: riri.sadiana@gmail.com

## ABSTRACT

*Vibration is a phenomenon that could not be avoided from a working system engine, so does the piston engine (piston engine). Vibration in piston engine in normal limits certainly will not interfere or reduce engine performance, But for a long time, it can reduce comfort and precision performance of the machine. The mathematical model of the vibration system on piston engine is needed in this case, created a mathematical model that will be analyzed and described, so it can be used as an input or guidelines to determine when the technical measures in the field. Reference systems work piston engine in this study refers to the piston engine in general or on a two-wheeled vehicle (125 CC).*

**Keywords:** Mechanical vibrations, mathematical models for mechanical vibration, piston engine.

## ABSTRAK

*Getaran merupakan suatu fenomena yang tidak mungkin bisa dihindari dari suatu sistem kerja mesin, begitupun pada mesin torak (piston engine). Getaran pada mesin torak dibatas normal tentunya tidak akan mengganggu atau menurunkan performa kerja mesin, akan tetap getaran yang terjadi secara kontinu, seiring dengan jalannya waktu dapat menurunkan kenyamanan dan presisi kerja mesin yang terjadi. Model matematika dari sistem getaran pada mesin torak sangat dibutuhkan dalam hal ini, model matematika yang dibuat untuk kemudian dianalisis dan dideskripsikan, dapat dijadikan masukan atau pedoman untuk menentukan langkah teknik pada saat di lapangan ketika dijumpai kondisi mesin yang sudah tidak lagi baik atau rusak. Acuan sistem kerja mesin torak dalam penelitian ini mengacu pada mesin torak secara umum atau pada kendaraan roa dua (125 CC).*

**Kata Kunci:** Getaran mekanik, Model matematika getaran mekanik, mesin torak.

## PENDAHULUAN

Getaran mekanik dapat didefinisikan sebagai gerak osilasi dari sistem mekanik di sekitar titik/posisi seimbang. Getaran terjadi karena adanya gaya eksitasi. Hampir semua mesin yang bergerak akan bergetar meskipun mungkin intensitasnya sangat kecil. Karena secara praktis tidak mungkin menghilangkan eksitasi getaran sama sekali. Eksitasi dapat terjadi karena adanya ketidakseimbangan pada mesin itu sendiri atau dari sumber di luar mesin. Pada banyak hal biasanya terjadinya getaran sangat tidak diinginkan karena getaran dapat mengganggu kenyamanan, menimbulkan ketidak presisian atau menurunkan kualitas kerja mesin-mesin perkakas. Bahkan getaran juga dapat merusak konstruksi mesin. Untuk itu banyak upaya dilakukan untuk meredam getaran.

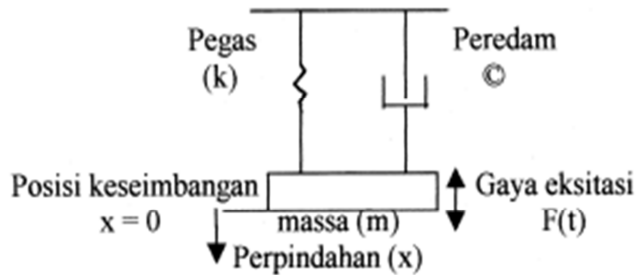
Sebelum melakukan upaya untuk melakukan redaman pada getaran, terlebih dahulu perlu dilakukan identifikasi masalah dan analisis tentang jenis dan besaran getaran yang muncul. Sebagai contoh, getaran yang umumnya terjadi pada bagian mesin (hal yang sudah wajar) pada interval tertentu tidak memerlukan redaman, hal ini dianggap tidak memberikan dampak negative terhadap kondisi mesin secara lebih lanjut. Salah satu bentuk identifikasi awal yang dilakukan untuk menyelesaikan beberapa permasalahan yang terkait dengan getaran pada mesin, diantaranya adalah menentukan model matematika pada fenomena tersebut. Model matematika yang dibuat secara lebih lanjut dapat dikembangkan dan disimulasikan untuk kemudian dilakukan analisis hingga menentukan alternative solusi yang dapat ditentukan. Adapun hal yang menjadi ukuran untuk menentukan model matematika sistem getaran pada mesin torak merupakan model yang sudah valid atau belum, pada prosesnya akan dilakukan pengecekan numerik terhadap hasil yang diperoleh antara respon hasil model dan respon aktual fenomena tersebut.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Getaran Mekanik dan Gaya pada Mesin Torak

Getaran dapat dipandang sebagai gerakan yang teratur dari benda atau media dengan arah bolak-balik dari kedudukan keseimbangan. Getaran biasa terjadi saat mesin atau alat dijalankan dengan motor, hal ini mempunyai pengaruh yang bersifat mekanis. Getaran merupakan gerak osilasi disekitar sebuah titik yang disebabkan oleh getaran udara atau mekanis, misalnya mesin atau alat-alat mekanis lainnya. Oleh sebab itu getaran banyak dipergunakan untuk menganalisis mesin-mesin baik dari gerak rotasi atau translasi. Vibrasi atau getaran mempunyai 3 parameter yang dapat dijadikan sbg tolak ukur yaitu amplitude, frekuensi dan *phase* [5].

Konsepsi awal kajian teoritis matematis getaran beranjak dari Hukum Newton II yang menyatakan bahwa gaya yang bekerja pada benda merupakan hasil kali massa benda tersebut dengan percepatan gerak bendanya atau yang lebih sering kita kenal dengan formulasi  $F = m \cdot a$ . Pada kasus benda kerja yang mengalami getaran, suatu sistem getaran memiliki komponen dalam sistem tersebut yang secara fisik adalah massa, pegas, peredam, dan gaya eksistasi. Secara sederhana, kondisi tersebut sering kali diperlihatkan seperti pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 1. Komponen sistem getaran

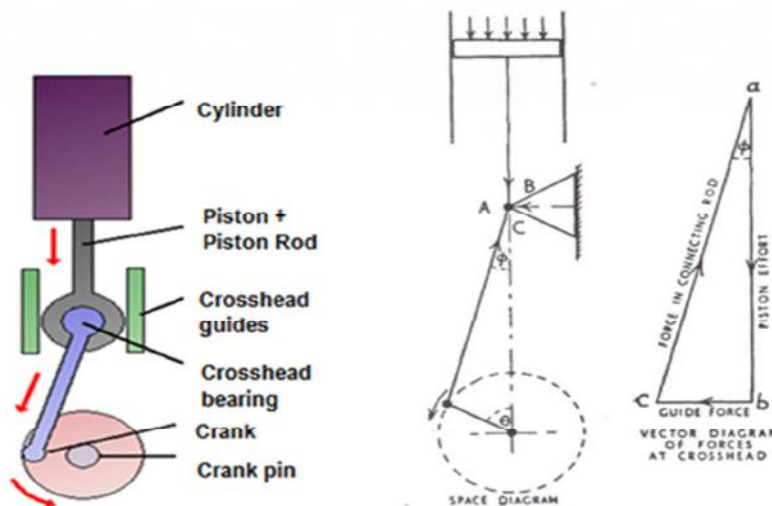
Jika ditinjau dari berbagai aspek, mesin diartikan sebagai suatu pesawat yang dapat merubah bentuk energi tertentu menjadi energi mekanik. Mesin bensin dikategorikan sebagai mesin kalor yang menggunakan sumber energi termal untuk menghasilkan kerja mekanik.

Ditinjau dari bagaimana caranya menghasilkan energi termal, mesin bensin dibedakan menjadi *internal combustion engine* dan *external combustion engine*. Pada tipe yang pertama yakni *internal combustion engine* proses pembakarannya berlangsung di dalam mesin itu sendiri, sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja.

Motor bakar torak seperti motor bensin dan motor diesel adalah contoh mesin pembakaran dalam. Perbedaan pokok keduanya terletak pada sistem penyalanya. Motor bakar Bensin dengan sistem penyalan bunga api listik antara kedua elektroda busi sehingga sering disebut *spark ignition engine*. Motor bakar disel dimana penyalan bahan bakar terjadi dengan sendirinya dengan jalan menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar yang berisi data bertemperatur tinggi. Bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya oleh udara yang mengandung O<sub>2</sub> memiliki suhu melampaui suhu titik nyal (*flash point*) dari bahan bakar Motor disel ini sering dijuluki *compression ignition engine* [8].

Pada tipe yang kedua yakni *external combustion engine*, proses pembakarannya terjadi di luar mesin dimana energi termal hasil pembakaran dipindahkan ke fluida kerja mesin melalui beberap dinding pemish. Kedalam tipe ini termasuk mesin-mesin uap.

Secara dinamik, gambar 2 menunjukkan system gaya gambar mesin torak.



Gambar 2. Sistem gaya yang bekerja pada mesin torak.

### Model Matematika pada Mesin Torak (*Piston Engine*)

Hasil penelitian lain yang cukup relevan dan menunjang penelitian yang akan dilakukan ini, terkait dengan model matematika pada mesin torak, tertuang kedalaman beberapa artikel yang telah dipublikasikan secara *online*. M. Slezak pada tahun 2007 mempublikasikan hasil penelitiannya tentang model matematika proses kerja mesin piston 4 katup, dalam artikelnya, berdasar pada prinsip pertama termodinamika diperoleh model pada persamaan (1) sebagai berikut [4]:

$$\delta E = dU + pdV \quad (1)$$

dengan kuantitas dasar energi yang disalurkan pada sistem sebesar ( $\delta E$ ), perubahan energi internal sistem sebesar ( $dU$ ), dan beban kerja minimum dalam silinder sebesar ( $pdV$ ). Melalui beberapa tahapan dan proses diperoleh volume sesaat dari beban kerja dalam silinder sebagai berikut :

$$V = \frac{V_s}{\epsilon - 1} \left[ 1 + (\epsilon - 1) \frac{\sigma}{2} \right] \quad (2)$$

$V_s$  menyatakan berat perpindahan volume piston dengan rasio tekanan sebesar  $\epsilon$  dan  $\sigma$  besar berat perpindahan relatif piston. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa melalui model matematika yang dibuatnya tergambar bahwa dibutuhkan nilai eksak dari setiap parameter untuk diperoleh hasil yang akurat, hasil analisisnya mengarah pada perhitungan proses nonstasioner selama katup terbuka dalam proses pembakaran, kuantitas dan volume dari sistem kerja dalam silinder secara khusus sangat berhubungan dengan temperatur dan kondisi mesin dalam setiap variabelnya.

Jibin Hu dalam artikelnya *mathematical modeling of hydraulic freepiston engine considering hydraulic valve dynamic* pada Agustus 2015 memberikan model matematika dari dinamika piston [2]. Besarnya perubahan jarak perpindahan piston (sistem koordinat dimulai dari titik awal/saat *cylinder head* terletak di bawah dalam ruang pembakaran), model gerak dinamik piston digambarkan pada persamaan (3) berikut:

$$pS + p_1S_1 - p_2S_2 - p_3S_3 - \text{sgn}(\dot{x})F_f - c_f\dot{x} = m_p\ddot{x} \quad (3)$$

dimana  $p$  merupakan tekanan gas dalam silinder,  $S$  merupakan area titik potong piston dalam ruang pembakaran,  $p_1$  dan  $S_1$  adalah tekanan dan area titik potong dalam *check chamber*,  $p_2$  dan  $S_2$  adalah tekanan dan area titik potong dalam *pump chamber*,  $p_3$  dan  $S_3$  adalah tekanan dan area titik potong dalam *compression chamber*,  $x$  merupakan perpindahan jarak piston dengan gaya gesek sebesar  $F_f$  dan koefisien peredam  $c_f$  serta  $m_p$  merupakan masa perpindahan piston.

Hasil simulasi yang diperolehnya menunjukkan bahwa gerak piston tidak hanya dibatasi oleh langkah kerja secara mekanis, akan tetapi lebih kepada penentuan titik seimbang antara gaya gas yang bekerja dalam ruang pembakaran, gaya gesek, gaya hidrolis dan momen inersia.

Kajian dan penelitian lain terkait dengan mesin torak (piston) sangat beragam dan bergantung pada fokus penelitian dan disiplin ilmu yang diterapkan. Pada penelitian yang akan dilakukan ini, sistem kerja mekanik pada mesin torak akan ditinjau dari perspektif getaran. Langkah kerja dan pembakaran yang terjadi dalam silinder tentunya menimbulkan gesekan yang mengarah pada adanya getaran di level permukaan mesin.

### METODE

Secara umum metode dalam penelitian ini menerapkan studi literatur dan pengembangan model serta penelitian lapangan. Adapun tahap rinciannya sebagai berikut:

1. Identifikasi dan pengumpulan informasi yang relevan terhadap getaran pada mesin torak (*literature* dan lapangan).
2. Membentuk asumsi dasar sebagai acuan untuk simplifikasi dan pembatasan masalah.
3. Formulasi masalah dengan deskripsi matematika atau pembentukan model.
4. Melakukan analisis untuk mencari solusi matematis.
5. Simulasi numerik.
6. Interpretasi solusi dan validasi model.

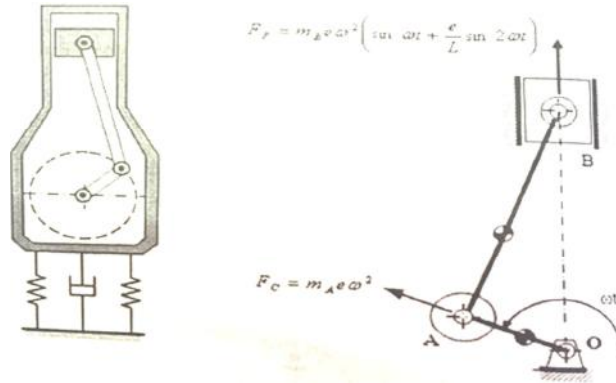
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Massa diasumsikan sebagai benda tegar. Besarnya energi kinetik tergantung dari massa dan kecepatan benda tegar tersebut. Dari hukum Newton kita ketahui bahwa hasil perkalian produk dari massa dan percepatannya adalah searah dengan arah gaya yang bekerja [6].

$$F_m = m\ddot{x} \quad (4)$$

Kerja adalah gaya dikalikan perpindahan, dimana perpindahan tersebut searah dengan gaya. Kerja ditransformasikan ke energy kinetic massa. Jika energy kinetic bertambah maka nilai kerja positif, dan jika energy kinetic berkurang, maka kerja adalah negative.

Perhatikan system satu derajat kebebasan yang ditunjukkan pada mesin torak oleh gambar 3 berikut:



**Gambar 3. Model Matematika Gaya pada Mesin Torak**

Melalui gambar 3 tersebut, suatu mesin bolak balik atau torak dimodelkan pada gambar di bawah ini dimana gaya-gaya yang bekerja adalah gaya pada mesin torak:

$$F_p = m_B e \omega^2 \left( \sin \omega t + \frac{e}{L} \sin 2\omega t \right) \quad (5)$$

dengan menyeimbangkan gaya pada engkol, maka gaya ekuivalen pada system adalah gaya inersia torak, yaitu:

$$F_{eq} = m_B e \omega^2 \left( \sin \omega t + \frac{e}{L} \sin 2\omega t \right) \quad (6)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (6) ke dalam hukum Newton II, maka diperoleh persamaan gerak system:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m_B e \omega^2 \left( \sin \omega t + \frac{e}{L} \sin 2\omega t \right) \quad (7)$$

Selanjutnya, respon dalam keadaan stedi dapat ditentukan dengan mensuperposisikan respon akibat komponen gaya primer  $m_B e \omega^2 \sin \omega t$  dan gaya sekunder  $\frac{e}{L} m_B e \omega^2 \sin 2\omega t$ . Jika  $x_p(t)$  adalah respon akibat gaya primer, maka:

$$x_p(t) = X_p \sin(\omega t - \phi_p) \quad (8)$$

Dan respon akibat gaya sekunder adalah:

$$x_s(t) = X_s \sin(2\omega t - \phi_s) \quad (9)$$

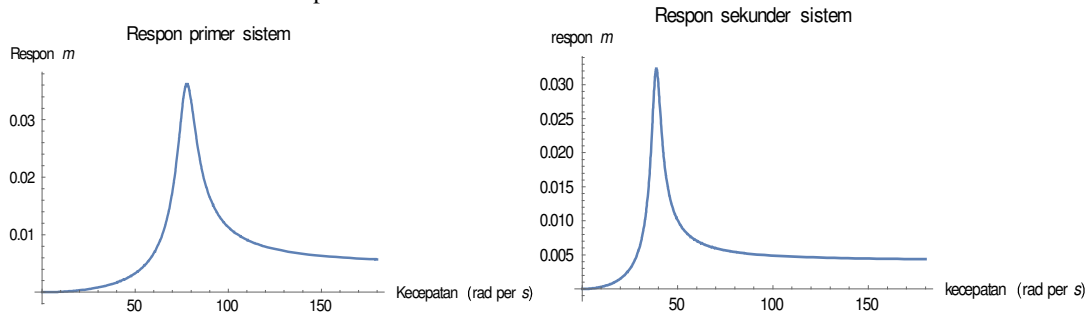
Dimana  $X_p$  dan  $X_s$  merupakan respon yang bernilai positif dan

$$\phi_p = -\tan^{-1} \frac{\omega c}{k - \omega^2 m} \text{ serta } \phi_s = -\tan^{-1} \frac{2\omega c}{k - \omega^2 m}.$$

Sehingga respon motor torak adalah

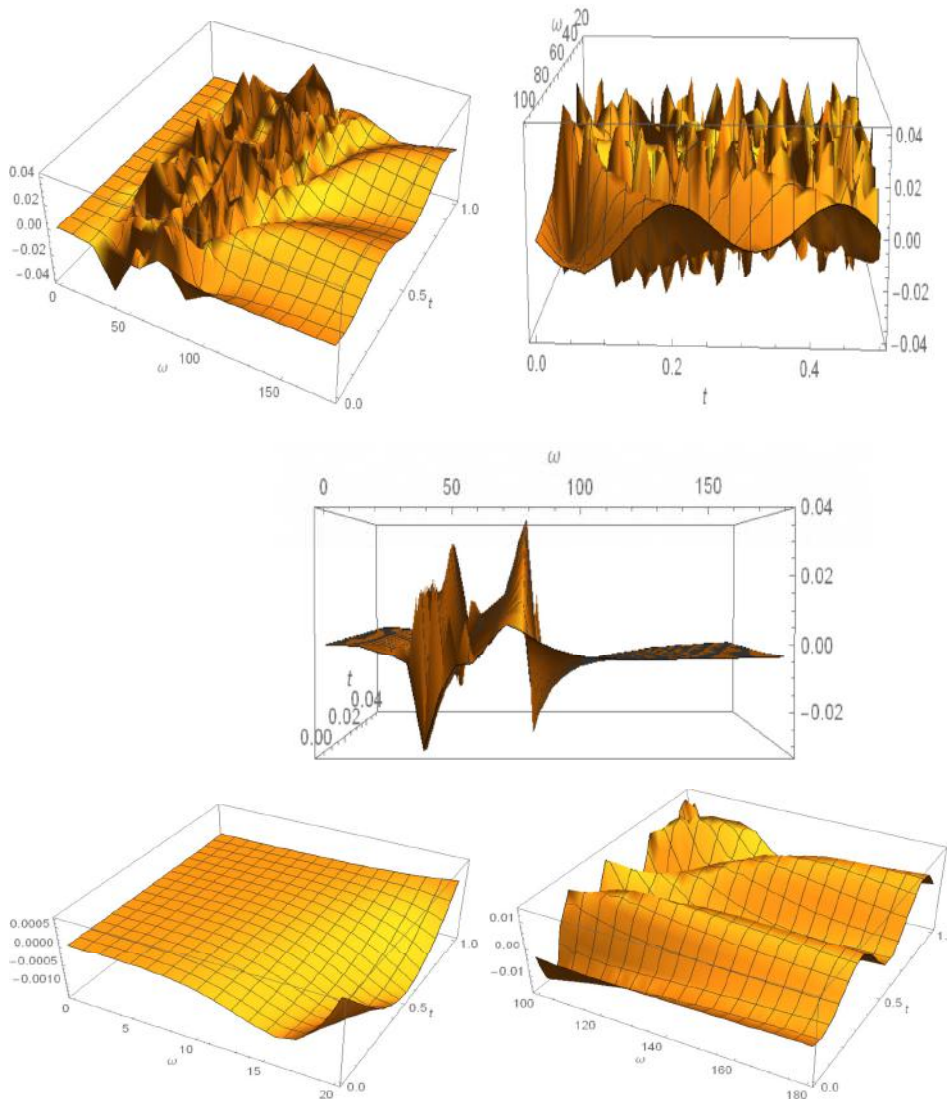
$$x(t) = x_p(t) + x_s(t) \quad (10)$$

Dari persamaan yang diperoleh, hasil simulasi numeric yang dilakukan untuk beberapa nilai parameter pada mesin motor bensin 125 CC diperoleh hasil berikut:



**Gambar 4. Respon Primer dan Sekunder System**

Adapun dinamika respon motor torak diperlihatkan pada gambar 5 yang menunjukkan bahwa pada interval waktu 1 menit, dinamika respon terlihat pada kecepatan sudut 20 sampai dengan 100 rad/s. Pada interval kecepatan sudut 0 sampai dengan 20 rad/s, dinamika tidak terlihat, dan memasuki interval 110 sampai dengan 180 rad/s, respon system menunjukkan perilaku yang tidak fluktuatif dan sangat terlihat siklus respon system tersebut.



**Gambar 5. Dinamika respon system**

## PENUTUP

Model matematika sistem getaran mekanik pada mesin torak ditunjukkan oleh persamaan:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m_B e \omega^2 \left( \sin \omega t + \frac{e}{L} \sin 2\omega t \right)$$

Melalui persamaan tersebut, data diketahui dinamika respon sistem secara primer maupun sekunder. Kecepatan sudut dan waktu menjadi variable yang sangat mempengaruhi kerja respon sitem pada mesi torak tersebut. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengaruh waktu terhadap respon system atau kecepatan respon motor torak untuk kasus khusus, seperti pada motor dengan putaran 1800 rpm maupun 6000 rpm.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Folkes, E. Laumal, *Pengembangan Sensor Getar ADXL335 sebagai Petunjuk Perawatan Mesin Bubut Horizontal*. Jurnal Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta , 17 November 2015. TE-01. ISSN : 2407 – 1846, e-ISSN : 2460 – 8416.
- [2] Jibin Hu, dkk. 2011. *Mathematical Modelling of A Hydraulic Free-Piston Engine Considering Hydraulic Valve Dynamic*. Elsevier, Energy 36 (2011) 6234 – 6242.
- [3] Junhong Zhang, dkk. 2015. *A Mathematical model for Coupled Vibration System of Road Vehicle and Coupling Effect Analysis*. Elsevier, Applied Mathematical Modelling 000 (2015) 1 – 19.
- [4] Marchin Slezak, dkk. 2007. *Mathematical Model of Four-Stroke Combustion Engine Working Process*. *Journal of KONES Powertrain and Transfort*, Vol.14 No.3.
- [5] Pudji Irasari, *Analisis Getaran pada Generator Magnet Permanen 1 KW Hasil Rancang Bangun Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik*, *Journal of Mechatronics*, Electrical Power, and Vehicular Technology, Vol. 01, No. 1, 2010, ISSN 2087-3379.
- [6] Ramses Y. Hutahaean., 2012. *Getaran Mekanik*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- [7] Steven C.Chapra dan Raymond P. Canale. 1991. *Metode Numerik untuk Teknik*. Jakarta: UI-Press.
- [8] Wahyu Hidayat. 2012. *Motor Bensin Modern*. Jakarta: Rineka Cipta
- [9][https://www.academia.edu/14225957/BAB\\_II\\_LANDASAN\\_TEORI\\_2.1.\\_Teori\\_Dasar](https://www.academia.edu/14225957/BAB_II_LANDASAN_TEORI_2.1._Teori_Dasar). diunduh pada tanggal 8 Maret 2016.