

# Pengukuran Getaran Osilasi Menggunakan Sensor Accelerometer MPU6000 pada Model Sistem *Tuned Mass Damper*

Djoko Untoro Suwarno<sup>1,a)</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Teknik Kendali,  
Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta,  
Jl. Paingan Maguwoharjo Sleman, Indonesia, 55284

<sup>a)</sup> joko\_unt@usd.ac.id (corresponding author)

## Abstrak

*Dengan kemajuan teknologi di bidang semikonduktor, muncullah produk IC sensor yang semakin murah dan mudah digunakan. Pada penelitian ini telah diuji coba sensor accelerometer 3 sumbu untuk pengukuran getaran osilasi pada model sistem Tuned Mass Damper (TMD). Sistem terdiri dari model TMD dengan 2 tingkat dan tinggi 60 cm, sensor accelerometer MPU6000, board Arduino serta komputer untuk mencatat dan menampilkan hasil pengukuran dalam bentuk grafik.. Parameter yang diukur berupa amplitudo getaran untuk 3 arah sumbu, frekuensi natural pada model sistem TMD dan redaman yang terjadi. Hasil pengukuran berupa data numerik untuk tiga sumbu (x,y,z) serta tampilan grafik dari pengukuran.*

*Kata-kata kunci: sensor accelerometer, model sistem Tuned Mass Damper (TMD), getaran osilasi*

## PENDAHULUAN

Fenomena getaran banyak dijumpai dalam sistem fisis seperti bandul (pendulum), alat musik, struktur bangunan, dll. Pengukuran periode getaran sederhana dapat dilakukan dengan menggunakan *stopwatch* atau *timer*, namun amplitudo getaran tidak bisa terekam. Pengukuran getaran frekuensi rendah dapat dilakukan dengan bantuan video tracker [1].

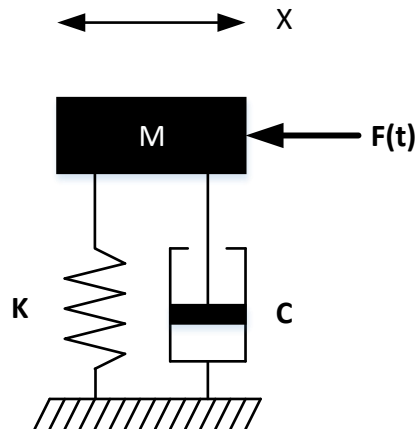
Pengukuran getaran diperlukan untuk mengetahui karakteristik sistem yang bergetar. Pengukuran getaran pada model TLCD (*Tuned Liquid Column Damper*) [2] menggunakan Accelerometer tipe 4507 B&K, Digital signal analyzer (DSA) B&K, dan Personal Computer untuk menampilkan pengolahan data. Accelerometer tipe 4507 dari B&K berharga ratusan Euro. Salah satu pengukuran getaran yaitu pada sistem gedung bertingkat dengan pengurang redaman (*Tuned Mass Damper*) dilakukan oleh [3].

Dengan berkembangnya teknologi dibidang sensor dan semikonduktor muncullah produk berupa IC sensor accelerometer MPU 60X0 [4,5] yang sangat terjangkau harganya memungkinkan pengukuran berbagai getaran dalam 3 arah.

Pada makalah ini akan dibahas penggunaan IC sensor accelerometer MPU60X0 untuk pengukuran getaran pada model *Tuned Mass Damper*.

### MODEL TUNED MASS DAMPER

Sistem Massa, pegas dan redaman seperti terlihat pada Gambar 1



Gambar 1. Sistem Massa, pegas dan redaman

Persamaan massa, pegas dan peredam

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

Dengan M berupa massa (kg)

C merupakan faktor redaman (N/ms<sup>-1</sup>)

K merupakan koefisien kekakuan (kelenturan) sistem (N/m)

F(t) merupakan gaya eksternal (N)

Dari persamaan (1) dapat diubah menjadi persamaan umum untuk sistem orde 2 yaitu

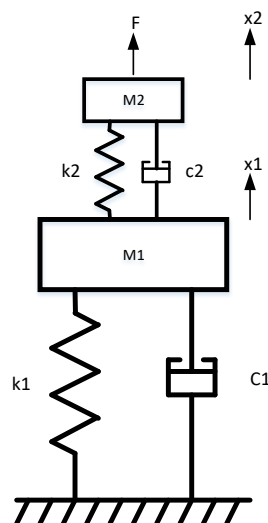
$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = F \tag{2}$$

Dengan  $\omega_n$  (rad/s) merupakan frekuensi pribadi dari sistem. Frekuensi pribadi dihitung dengan persamaan

berikut.  $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{M}}$  atau dalam bentuk frekuensi  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}}$

$\zeta$  merupakan perbandingan redaman  $\zeta = \frac{C}{2\omega_n M} = \frac{C}{2\sqrt{kM}}$

### Model Sistem Tuned Mass Damper [6]



Gambar 2. Sistem TMD

Persamaan untuk sistem TMD pada Gambar 2 sebagai berikut

$$M1 \frac{d^2x_1}{dt^2} + C1 \frac{dx_1}{dt} + kx_1 = k_2(x_2 - x_1) + F(t) \tag{3}$$

$$M2 \frac{d^2(x_2-x_1)}{dt^2} + C2 \frac{d(x_2-x_1)}{dt} + k_2(x_2 - x_1) = 0 \tag{4}$$

**Sensor MPX6000 [4,5]**

Sensor MPX6000 merupakan sensor accelerometer yang mampu mengukur 3 arah getaran sekaligus. Sensor ini termasuk dalam IC MEMS (*Micro Electrical Mechanical System*) yaitu suatu IC yang terdiri dari sistem mekanikal dalam ukuran kecil disertai dengan sistem elektronis didalamnya. Sensor accelerometer menggunakan prinsip kapasitor untuk mendeteksi percepatan pada massa di dalamnya. Berikut ini spesifikasi IC sensor accelerometer MPU6000

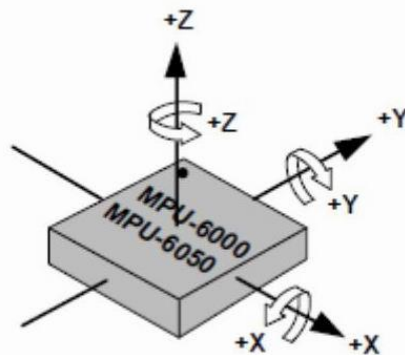
- *MPU-6050 modules (three-axis gyroscope + three-axis accelerometer)*  
*Use the chip: MPU-6050*
- *Power supply :3-5v (internal low dropout regulator)*
- *Communication modes: standard IIC communications protocol*
- *Chip built-in 16bit AD converter, 16-bit data output*
- *Gyroscope range: 250 500 1000 2000 / s*
- *Acceleration range: 2 4 8 16g*

IC sensor accelerometer dikemas dalam bentuk board ditunjukkan pada Gambar 3



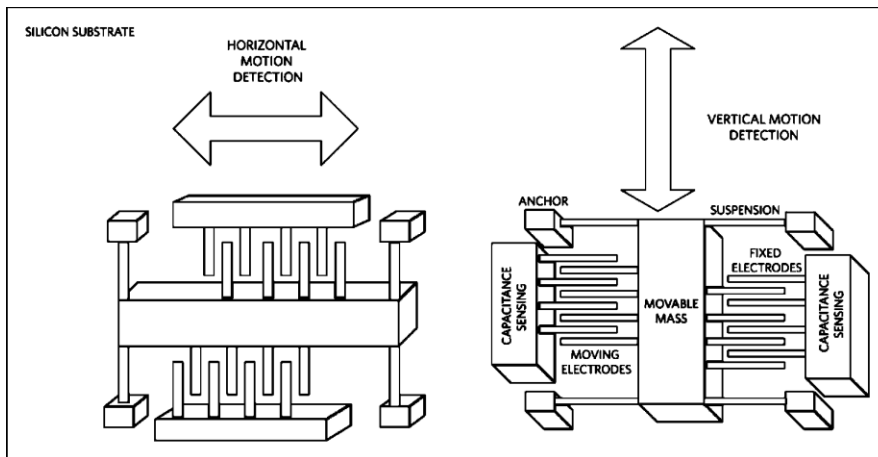
Gambar 3. modul sensor accelerometer MPU60X0 (sumber <https://www.bazaargadgets.com/no/mpu9150-9-axis-akselerometer-sensor-modul-for-arduino-to-stil.html>)

Orientasi arah getaran dan respons dari sensor MPU6000 ditunjukkan pada Gambar 4 yaitu arah X, arah Y dan arah Z

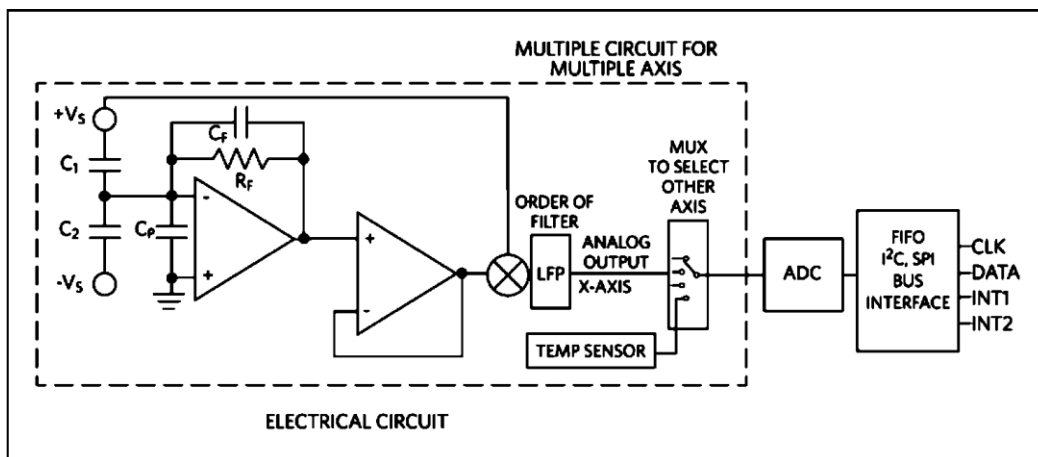


Gambar 4. Orientasi arah getaran dan sensitivitas pada MPU-60X0 (sumber <http://www.invensense.com>)

IC sensor accelerometer terdapat Massa yang dapat bergerak dan terpasang seperti terlihat pada Gambar 5. Terdapat 3 massa yang peka terhadap arah 3 sumbu bergerak. Pergerakan dideteksi dengan menggunakan prinsip pengukuran kapasitor seperti terlihat pada Gambar 6. Hasil pengukuran percepatan yang terjadi pada massa kemudian diubah menjadi data digital melalui ADC, Hasil pengukuran untuk ketiga arah pergerakan dikirim secara serial melalui protokol komunikasi I2C.

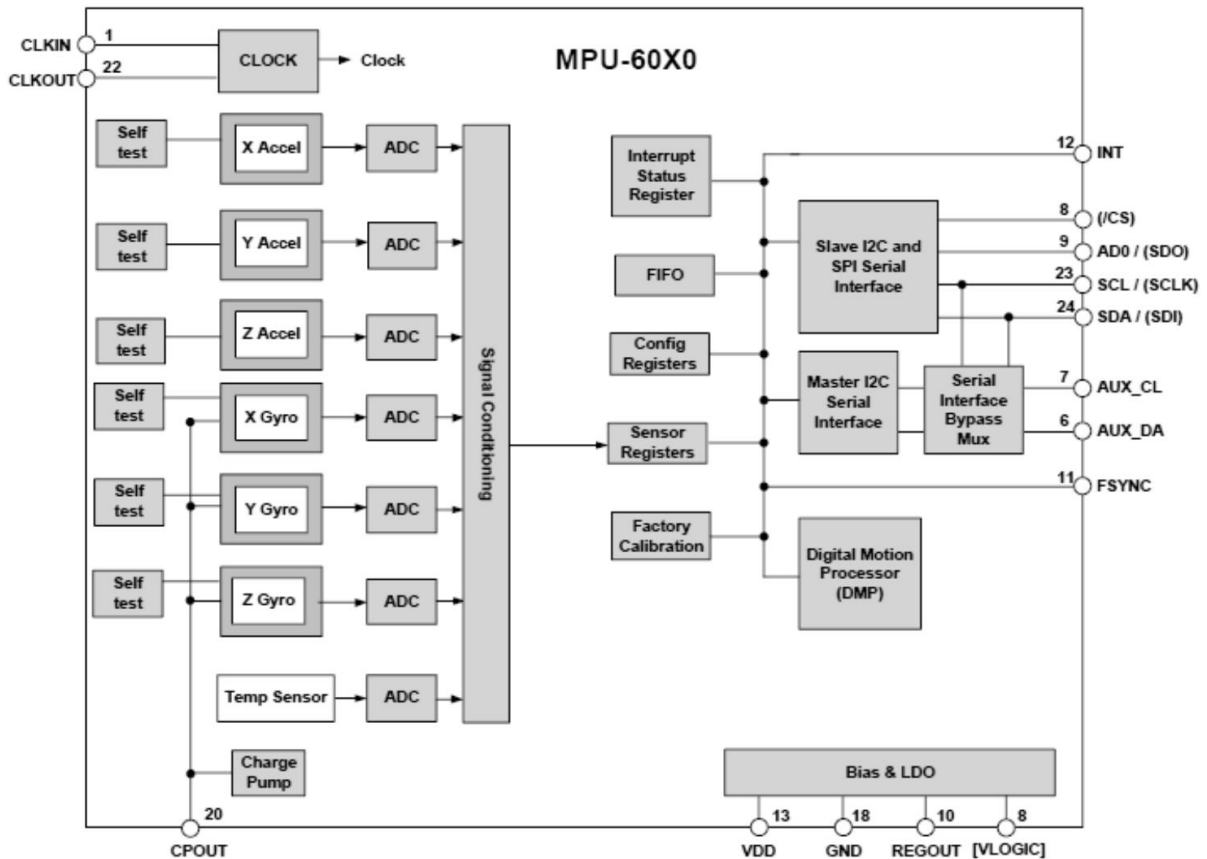


Gambar 5. Orientasi massa yang dapat bergerak sensitif terhadap arah gerakan sebagai sensor accelerometer (prinsip sensing kapasitor).(sumber <http://www.maximintegrated.com/en/an5830>)



Gambar 6. Sistem elektronis untuk mendeteksi kapasitansi pada IC sensor accelerometer (sumber <http://www.maximintegrated.com/en/an5830>)

Diagram blok IC MPU6000 ditunjukkan pada Gambar 7, terdapat 3 massa untuk pengukuran percepatan dan 3 sumbu gyroscope untuk mendeteksi gerakan berputar. Hasil pengukuran diubah menjadi data digital melalui ADC 16 bit dan dikirimkan secara serial melalui komunikasi I2C.

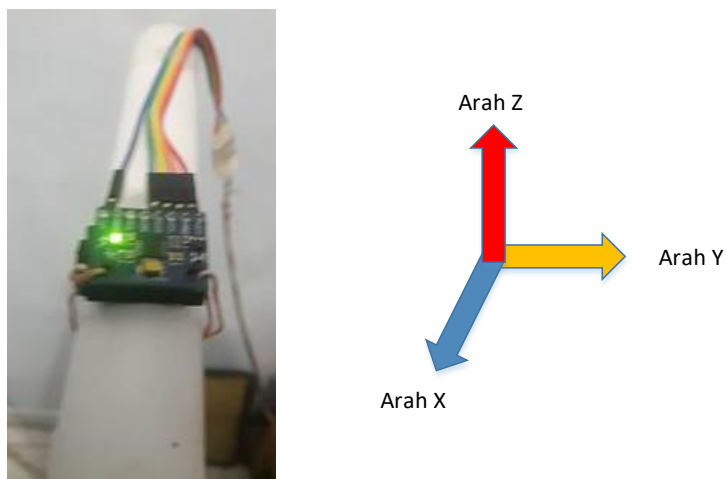


Note: Pin names in round brackets ( ) apply only to MPU-6000  
Pin names in square brackets [ ] apply only to MPU-6050

Gambar 7. Diagram Blok sistem IC sensor accelerometer 3 sumbu dan gyro 3 sumbu

## BAHAN DAN METODE

Modul IC sensor accelerometer dipasang pada struktur yang akan diukur getarannya seperti terlihat pada Gambar 8.

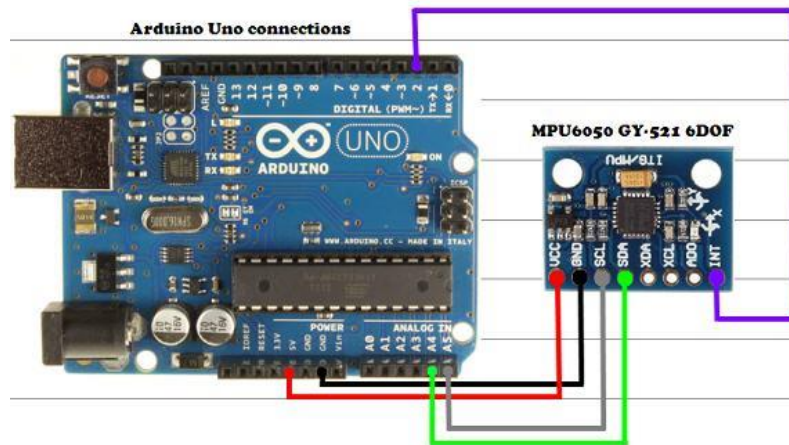


Gambar 8. Pemasangan modul IC sensor accelerometer pada struktur yang mengalami getaran (sumber dokumen pribadi)

Pemasangan modul sensor menentukan arah getaran yang akan diukur. Pada gambar 8 arah yang sensitif terhadap getaran yaitu arah Y. Arah X pada struktur tidak mengalami elastis, sedangkan arah Z (ke atas) juga tidak terjadi. Getaran terjadi dengan mendorong struktur ke arah Y, dan struktur akan mengalami getaran ke

arah Y. Besarnya amplitudo stimulus tidak ditentukan. Bila stimulus terlalu besar berakibat data hasil pengukuran akan mengalami terpotong dibagian atas maupun bawah.

Modul IC sensor accelerometer dihubungkan dengan Arduino seperti terlihat pada Gambar 9. Listing program disajikan dalam lampiran.



Gambar 9. Modul accelerometer terhubung dengan Arduino[7]

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian berupa data numerik dan grafik. Data dalam bentuk numerik berupa CSV (*Comma Separated Value*) seperti terlihat pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Data dalam bentuk numerik

Arah X	Arah Y	Arah Z
-2336	1368	15948
-2396	1272	15992
-2336	1360	15940
-2352	1396	16032
-2344	1408	16024
-2296	1384	16000
-2372	1408	15880
-2360	1364	16004
-2356	1412	16084
-2400	1424	15928
-2352	1356	15892
...	...	...

Data yang diambil diatur pada listing program (disajikan pada lampiran).

Format data : acc X , acc Y , acc Z

Panjang data acc X = 16 bit

Panjang data acc Y = 16 bit

Panjang data acc Z = 16 bit

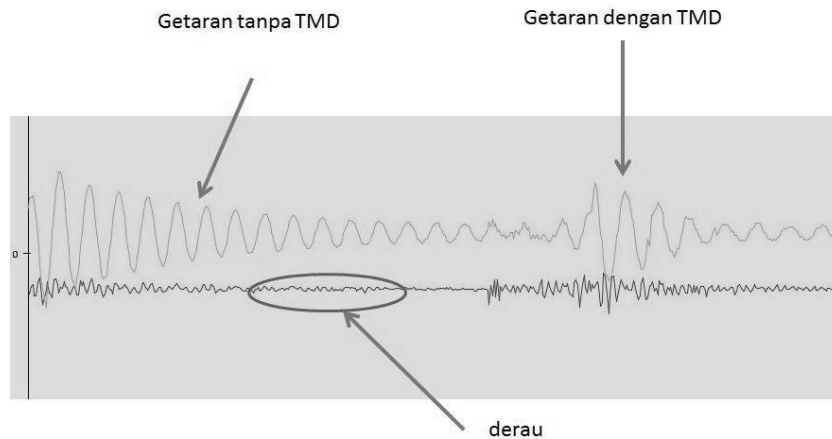
Jangkauan data sebesar 2-15-1 atau bernilai dari -32768 sampai 32767

Delay antar baris data sebesar 10 ms (diatur dari program)

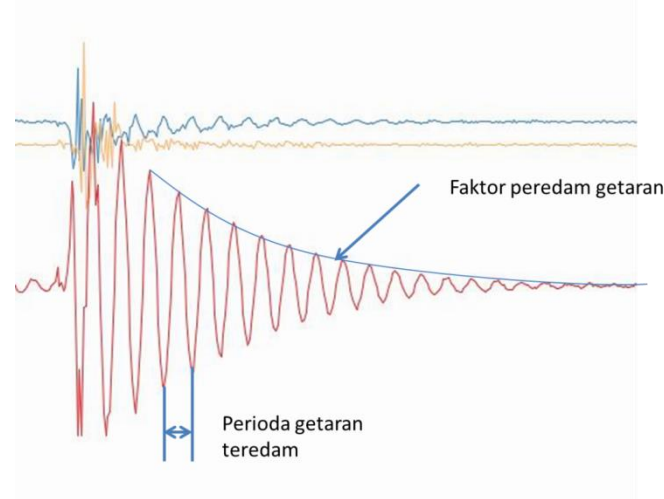
Orientasi posisi sensor menentukan arah getaran yang akan dideteksi (arah X, Y dan Z) terlihat pada Gambar 8. IC sensor accelerometer menggunakan komunikasi I2C (sinyal SDA dan SCL) secara serial sehingga dapat mengirimkan data hasil pengukuran yang lebih banyak . Panjang kabel komunikasi I2C maksimal 2,25 meter menggunakan kabel UTP (*Unshielded Twisted Pair*) yang banyak dipakai sebagai kabel LAN.

Hasil pengujian sensor ditunjukkan pada Gambar 10, dan Gambar 11. Gambar 10 menunjukkan respon sistem saat tanpa TMD dan respon sistem saat menggunakan TMD. Sistem tanpa menggunakan TMD dilakukan dengan melepaskan massa peredam sedangkan sistem dengan menggunakan TMD dilakukan dengan memasang beban. Dari grafik terlihat getaran tanpa TMD memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan menggunakan TMD. Sistem dengan menggunakan TMD akan mempercepat redaman.

Sinyal lain yang diterima dari sensor accelerometer berupa tiga buah sinyal sesuai dengan arah getaran (dalam gambar hanya ditampilkan dua). Sinyal terdapat derau yaitu sistem yang tidak mendapat stimulus akan menghasilkan nilai. Derau dapat diperkecil dengan melakukan penapisan pada sinyal yang terjadi.



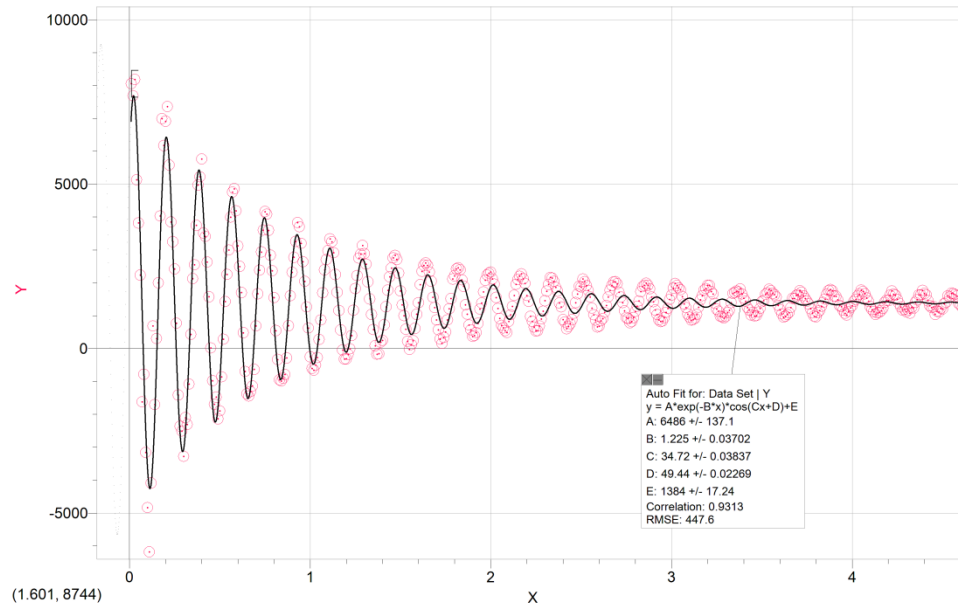
Gambar 10. Grafik getaran tanpa TMD dan getaran dengan TMD



Gambar 11. Sinyal yang teredam

Gambar 11 menunjukkan grafik sinyal yang teredam, pengukuran periode dan faktor redaman.

Penentuan parameter getaran seperti Amplitudo, frekuensi pribadi dan offset dilakukan pencocokan kurva. Gambar 12 menunjukkan pencocokan kurva pada gelombang teredam menggunakan persamaan  $y(t) = A \cdot e^{-B \cdot t} \cdot \cos(C \cdot t + D) + E$ . Pencocokan kurva menggunakan bantuan software LoggerPro 3.14.1 menghasilkan parameter sebagai berikut:



Gambar 12. Pencocokan kurva pada gelombang teredam

Amplitudo           A: 6486 +/- 137.1  
 Faktor redaman    B: 1.225 +/- 0.03702  
 Frekuensi sudut   C: 34.72 +/- 0.03837  
 Fase                D: 49.44 +/- 0.02269  
 Offset              E: 1384 +/- 17.24  
 Correlation: 0.9313  
 RMSE: 447.6

Hasil pencocokan kurva dapat mewakili 93% data

## KESIMPULAN

Penggunaan sensor accelerometer memudahkan dalam akuisisi data pengukuran getaran. Pemasangan arah sensor berpengaruh pada arah getaran yang akan diukur. Hasil pengukuran dapat ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mengetahui keadaan sistem secara real time, data dapat disimpan dalam bentuk numerik untuk dilakukan analisis selanjutnya

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Makalah ini didanai oleh Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma 2017.

## REFERENSI

1. Suwarno, D. U. *Getaran osilasi teredam pada pendulum dengan magnet dan batang aluminium*. Seminar Kontribusi Fisika SKF (hal. 100-107). Bandung: ITB, (2015)
2. Bura, M., Sonb, L., & Govi, R. Y. *Kaji Eksperimental Penerapan Peredam Dinamik TLCD dan TMD pada Model Struktur Geser Dua Derajat Kebebasan*. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV) (hal. MT55). Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat, (2015)
3. Setio, P. H. *Pidato Ilmiah Guru Besar: Percancangan Struktur Cerdas yang mampu beradaptasi terhadap beban lingkungan untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan struktur bangunan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.(2001)

4. InvenSens. *MPU-6500 Register Map and Descriptions*. California: [www.invensense.com](http://www.invensense.com). (2013)
5. InvenSens. *MPU-6000/MPU-6050 Product Specification*. California: [www.invensense.com](http://www.invensense.com). (2013)
6. Tang, X., & Zuo, L. (2011). *Simulation and Experiment Validation of Simultaneous Vibration Control and Energy Harvesting from Buildings using Tuned Mass Dampers*. American Control Conference, 3134-3139.
7. [http://www.hackster.io/s\\_r-tronics/self-balancing-robot-using-mpu-6050-accelerometer-74d57d](http://www.hackster.io/s_r-tronics/self-balancing-robot-using-mpu-6050-accelerometer-74d57d).