

Pendeteksi Gempa Bumi dengan Menggunakan Sensor Akselerometer MPU6050 pada Prototipe Berbasis *Unbalanced Mass*

Daryanda Dwiammardi Djamal^{1,a)}, Elsanita Sinaga^{1,b)}, Laurentius Michael George^{1,c)}, Nicola Gianina Suryadi^{2,d)}, Yudhistira Yoga Semeru^{1,e)}, Maria Evita^{1,f)}, dan Mitra Djamal^{1,g)}

¹Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi,
Kelompok Keahlian Fisika Teoritik Energi Tinggi dan Instrumentasi,
Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Teknik Mesin
Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

a) d.daryanda@gmail.com

b) sinagaelsa5@gmail.com

c) laurentiusmichaelgeorge@gmail.com

d) nicolagianina.s@gmail.com

e) yudsyoga@gmail.com

f) maria@fi.itb.ac.id

g) mitra@fi.itb.ac.id

Abstrak

Gempa adalah suatu getaran osilasi dengan frekuensi dan amplitudo tertentu. Gempa selalu menyebabkan kerusakan yang besar terhadap suatu bangunan atau infrastruktur mekanik lainnya seperti jembatan, jalan dan lain-lain. Sistem prototipe alat yang dibuat bermaksud untuk mensimulasikan gempa bumi beserta metode pendeteksiannya. Gempa bumi disimulasikan dengan menggunakan sistem aktuator yang disusun oleh pasangan motor DC dan massa tak seimbang. Kecepatan motor DC tersebut dapat diatur dengan menggunakan PWM (pulse width modulation). Pendeteksian gempa tersebut dilakukan dengan menggunakan sensor accelerometer (MPU6050) yang terpasang langsung pada media simulasi osilasi gempa. Sistem aktuator, sensor, dan indikator diatur menggunakan Arduino. Data yang didapatkan dari sensor berupa data percepatan yang kemudian dikonversi menjadi Modified Mercalli Scale (MMS) yang menunjukkan seberapa destruktif gempa yang disimulasikan. Hasil konversi tersebut, serta percepatan yang terbaca oleh MPU6050 kemudian ditampilkan ke LCD sehingga pengguna dapat melihat skala Mercalli yang dihasilkan gempa.

Kata-kata kunci: akselerometer, Arduino, gempa, modified Mercalli scale, unbalanced mass

PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah getaran atau getar-getar yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa Bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak Bumi (lempeng Bumi). Frekuensi suatu wilayah, mengacu pada jenis dan ukuran gempa Bumi yang dialami selama periode waktu. Gempa Bumi besar terakhir besarnya 9,0 atau lebih besar adalah 9,0 magnitudo gempa di Jepang pada tahun 2011 (per Maret 2011), dan itu adalah gempa Jepang terbesar sejak pencatatan dimulai. Intensitas getaran diukur dengan modifikasi Skala Mercalli. Gempa bumi ini dapat menciptakan kehancuran/kerusakan pada suatu infrastruktur mekanik[1]. Selain itu, dampak lain dari gempa

bumi adalah gempa bumi tidak jarang memakan korban jiwa. Oleh karena itu, dibutuhkan alat untuk mendeteksi gempa agar proses evakuasi dapat dilakukan dengan lebih cepat.

Terdapat beberapa kuantisasi gempa bumi, yaitu dapat digunakan skala Richter dan/atau *peak ground acceleration* (PGA). PGA merupakan kuantisasi besaran gempa dengan mengukur percepatan batuan dasar yang timbul akibat adanya gempa. PGA lebih banyak digunakan dalam penelitian karena proses pengambilan data yang relatif lebih sederhana dibandingkan dengan skala Richter yang memerlukan banyak tinjauan. Selain itu juga penggunaan PGA bukan menjadi hal baru karena PGA umum digunakan oleh *earthquake engineering*[2].

Pada penelitian kali ini digunakan metode PGA yang kemudian dapat dikonversi dengan *Modified Mercalli Scale* (MMS). MMS adalah satuan untuk mengukur kekuatan gempa bumi. Satuan ini diciptakan oleh seorang vulkanologis dari Italia yang bernama Giuseppe Mercalli pada tahun 1902. Skala Mercalli terbagi menjadi 10 pecahan berdasarkan informasi dari orang-orang yang selamat dari gempa tersebut dan juga dengan melihat serta membandingkan tingkat kerusakan akibat gempa bumi tersebut. Ke-12 pecahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1[3]. Pada tabel tersebut terdapat rentang PGA yang kemudian dikonversi menjadi skala MMS.

Pada penelitian kali ini digunakan pemodelan berupa prototipe osilasi menggunakan *unbalance mass*. Osilasi diciptakan oleh motor DC yang disambungkan dengan *unbalance mass*. Untuk mengukur PGA digunakan sensor akselerometer MPU6050. MPU6050, yang merupakan modul sensor akselerometer, dapat bekerja dengan menghubungkan mikrokontroler Arduino Pro Micro. MPU6050 memiliki dimensi yang relatif kecil, dan dapat mendeteksi percepatan pada tiga sumbu x, y, dan z dengan harga yang terjangkau dan relatif mudah didapat[5]. Untuk mengurangi sinyal *noise*, dilakukan *filtering* menggunakan *low-pass filter* untuk melewatkan sinyal yang diinginkan.

Tabel 1. Konversi PGA ke MMS (diambil dari referensi [3] yang diterjemahkan ke Bahasa Indonesia)

Intensitas	Efek	PGA (gal)
I	Tidak terasa.	< 1
II	Terasa oleh orang yang sedang diam, terutama jika orang tersebut tidak berdiri di lantai dasar.	1 - 2
III	Terasa. Objek yang digantung bergoyang. Getarannya seperti getaran yang dirasakan ketika ada truk ringan yang lewat.	2 - 5
IV	Terasa di dalam bangunan. Objek yang digantung bergoyang. Getarannya seperti getaran yang dirasakan ketika ada truk besar yang lewat. Alarm mobil menyala. Jendela, piring, dan pintu bergetar.	5 - 10
V	Terasa di luar bangunan. Orang yang sedang tidur terbangun. Air yang tenang bergoyang, bahkan terkadang tumpah sebagian. Barang-barang kecil dapat bergerak berpindah tempat, pintu mengayun, dan pendulum pada jam pendulum bergerak tidak beraturan.	10 - 25
VIa	Terasa oleh semua orang. Orang tidak dapat berjalan dengan stabil. Jendela, piring, dan peralatan gelas pecah. Buku-buku dan barang di atas rak berjatuh, dan pigura yang dipasang pada tembok berjatuh. Furnitur bergerak atau terjatuh. Bangunan tipe D retak. Lonceng Gereja dan sekolah berbunyi. Pohon dan semak bergetar.	25 - 50
VII	Orang kesulitan berdiri. Getaran dirasakan oleh pengendara mobil. Furnitur rusak. Bangunan tipe D rusak. Konstruksi cerobong asap yang lemah rusak. Batu-bata, plester bangunan, batu-batu bangunan, dan ornamen-ornamen arsitektur lainnya terlepas dan berjatuh. Bangunan tipe C retak. Terbentuk gelombang pada kolam air, air menjadi keruh karena tercampur dengan tanah akibat adanya turbiditas. Terbentuk pola gerakan pada pasir dan kerikil. Saluran air dari semen rusak.	50 - 100
VIII	Setir kendaraan bermotor terpengaruh. Bangunan tipe C rusak. Terdapat kerusakan bangunan tipe B, namun tidak pada bangunan tipe A. Cerobong asap, patung-patung, monumen, rusak/jatuh. Rumah dapat bergeser jika fondasi tidak baik. Ranting-ranting pohon berjatuh. Terdapat perubahan temperatur atau aliran udara pada mata air dan sumur. Terdapat retakan pada tanah basah, dan lereng curam.	100 - 250

IX	Kepanikan massal. Bangunan tipe D hancur seluruhnya, bangunan tipe C rusak berat, bangunan tipe B rusak. Fondasi bangunan rusak. Pipa bawah tanah rusak. Waduk rusak. Terdapat retakan pada tanah.	250 - 500
X	Sebagian besar bangunan rusak bersamaan dengan fondasinya. Sebagian jembatan kayu dan struktur berbahan kayu yang dibuat dengan baik rusak. Terdapat kerusakan serius pada bendungan. Terjadi longsor. Air pada badan air (danau, kolam, sungai, dll.) terlempar keluar. Rel kereta api bengkok sedikit.	500 - 1000
XI	Rel kereta api bengkok. Pipa-pipa bawah tanah rusak seluruhnya.	*
XII	Kerusakan total. Barang-barang terlempar ke udara. Penglihatan terganggu akibat adanya distorsi level permukaan.	*
Keterangan		
* Pada intensitas level maksimum, potensi kerusakan ditentukan berdasarkan kerusakan pada tanah. Sebagian besar jenis tanah tidak dapat bertahan dari percepatan lebih dari 500 gals dalam waktu yang lama		
Bangunan tipe A	Bangunan dengan desain yang baik dan kuat. Bangunan juga dibangun dengan bahan-bahan berkualitas tinggi. Bangunan didesain untuk tahan terhadap gaya lateral.	
Bangunan tipe B	Bangunan dengan desain yang baik dan kuat. Bangunan juga dibangun dengan bahan-bahan berkualitas tinggi. Ketahanan bangunan terhadap gaya horizontal tidak didesain dengan rinci/detail.	
Bangunan tipe C	Bangunan dengan desain dan kekuatan yang cukup. Tidak didesain untuk tahan terhadap gaya horizontal.	
Bangunan tipe D	Bangunan dengan desain dan kekuatan yang kurang. Bangunan dibuat dengan bahan-bahan kualitas rendah.	

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat prototipe yang mensimulasikan gempa bumi yang dapat divariasikan, mengukur gempa bumi yang disimulasikan berdasarkan MMS, serta menentukan nilai frekuensi alami dari prototipe.

METODE

Prototipe yang dibuat pada penelitian ini merupakan perangkat simulasi sederhana gempa bumi berbasis *unbalanced mass* sebagai penggetar. Gempa bumi yang disimulasikan tersebut kemudian diamati oleh sensor akselerometer MPU6050. Deskripsi yang lebih terinci mengenai alat dan bahan yang digunakan, desain prototipe, diagram skematik dari rangkaian pada prototipe, cara pengambilan data percepatan, *signal processing* dengan *low-pass filter*, penentuan nilai percepatan terhadap tegangan, serta diagram alir program .

Alat dan Bahan yang Digunakan

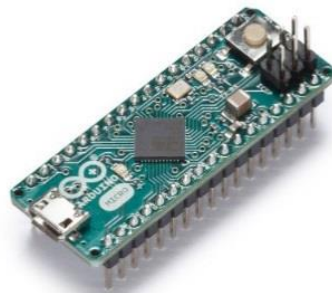
Untuk membuat prototipe ini digunakan modul sensor akselerometer MPU6050, Arduino Pro Micro, LCD *display*, dan modul I2C. Sensor MPU-6050 (Gambar 1) berisi sebuah MEMS *accelerometer* dan sebuah MEMS *gyro* yang saling terintegrasi. Sensor ini sangat akurat dengan fasilitas hardware internal 16 bit ADC untuk setiap kanalnya. Sensor ini akan menangkap nilai X, Y, dan Z bersamaan dalam satu waktu. Selain itu, juga dapat menangkap akselerasi dari setiap sumbu koordinatnya. Akselerometer digunakan untuk mengukur percepatan yang terjadi dan mengubahnya menjadi data input ke Arduino. Spesifikasi dari modul adalah sebagai berikut[6]:

- Berbasis Chip MPU-6050
- Supply tegangan berkisar 3-5V
- *Gyroscope range*: + 250 500 1000 2000 ° / s
- *Acceleration range*: ± 2 ± 4 ± 8 ± 16 g
- *Communication standard* I2C
- *Chip built-in* 16 bit AD *converter*, 16 bits data output
- Jarak antar pin *header* 2.54 mm
- Dimensi modul 20.3mm x 15.6mm



Gambar 1. Modul sensor MPU6050[5]

Untuk memrogram prototipe ini, digunakan *board* Arduino pro micro (Gambar 2). Arduino pro micro merupakan mikrokontroler terkecil dari Arduino. Arduino ini berbasis ATmega 32U4 sehingga dapat dengan mudah digunakan. Arduino ini memiliki 20 buah I/O pin (7 PWM dan 12 analog input). Kristal osilator yang digunakan untuk Arduino ini sebesar 16MHz. Arduino digunakan sebagai media akuisisi data dan media pengatur kecepatan putar motor[7].



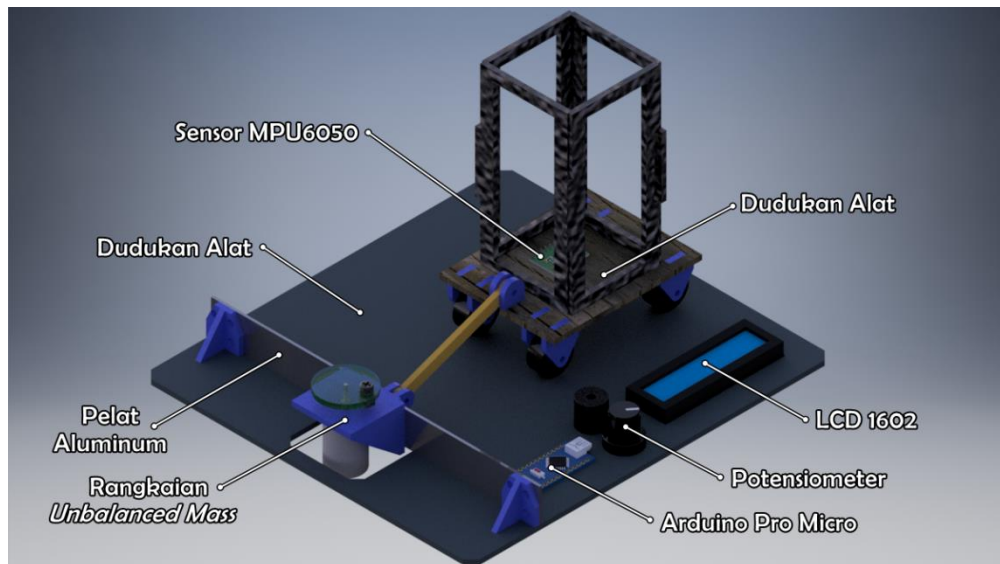
Gambar 2. Arduino Pro Micro

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis *User Interface* yang berfungsi untuk menampilkan karakter pada layar berukuran kecil. LCD dapat digunakan pada berbagai perangkat elektronik seperti TV, kalkulator, dan lain-lain. LCD berfungsi untuk menampilkan status kerja prototipe. Pada perangkat LCD yang digunakan, turut digunakan pula modul I2C (*Inter Integrated Circuit*) untuk menghubungkan LCD dengan Arduino. LCD yang dipakai pada prototipe alat ini adalah LCD 16x2 karakter, yang berarti terdapat 2 baris yang masing-masing terdiri dari 16 kolom pada LCD.

Dibutuhkan juga sumber daya eksternal *power module* untuk memberi tegangan pada motor DC. *Power module* ini terhubung langsung ke potensiometer untuk mengatur tegangan input dari motor DC. Sedangkan potensiometer berfungsi untuk mengatur tegangan motor anatar 0-5V.

Desain Prototipe

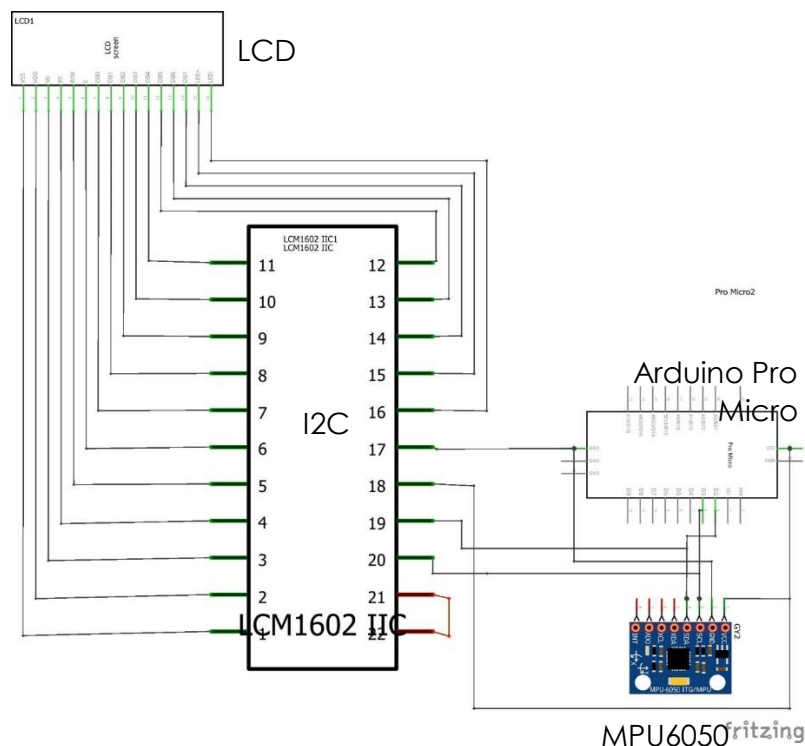
Alat ini terdiri atas beberapa bagian utama yaitu penggetar, bangunan, dan komponen elektronik (Gambar 3). Penggetar merupakan bagian yang berfungsi untuk menghasilkan osilasi pada sistem. Penggetar ini tersusun atas motor DC dan massa tidak seimbang yang dihubungkan langsung dengan pelat aluminium untuk menghasilkan getaran beresilansi sebagai sampel getaran untuk diukur sebagai besaran gempa. Bangunan yang digunakan tersusun dari akrilik yang telah dipotong sesuai desain dengan proses *laser cutting* dan disatukan perekat adhesif sehingga dihasilkan struktur yang menyerupai bangunan. Sensor akselerometer terletak pada alas bangunan dan digunakan untuk mengukur besarnya osilasi.



Gambar 3. Desain prototipe alat

Diagram Skematik dari Rangkaian pada Prototipe

Berikut adalah diagram skematik dari rangkaian pada prototipe alat yang dibuat:



Gambar 4. Diagram skematik dari rangkaian pada prototipe alat.

Pada rangkaian prototipe alat (Gambar 4), LCD dan MPU6050 terhubung dengan I2C. Kemudian I2C dihubungkan dengan Arduino Pro Micro yang digunakan untuk memrogram MPU6050 dan I2C.

Pengambilan Data Percepatan

Setelah prototipe alat simulasi terbentuk, dilakukan pengambilan data percepatan dengan memberikan lima buah tegangan masukan, yaitu dari 0,6 Volt sampai 1 Volt dengan jarak 0,1 Volt. Setelah itu data diolah menjadi sebuah grafik, dan dari grafik dihitung nilai frekuensi rata-rata untuk setiap tegangan yang diberikan.

Signal Processing dengan Low-Pass Filter

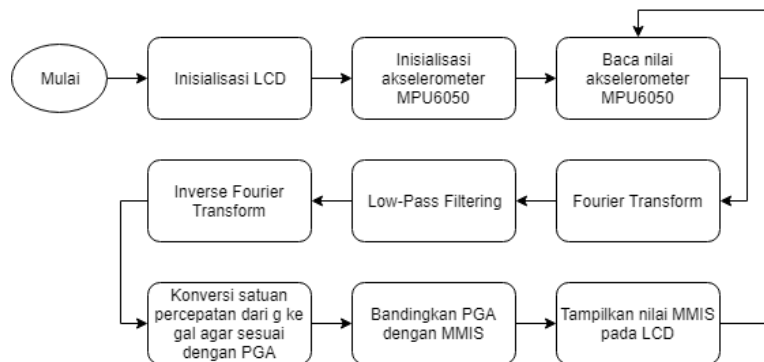
Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, dilakukan *filtering*. Data-data berfrekuensi tinggi yang dianggap sebagai *noise*. Data frekuensi terhadap tegangan yang telah diperoleh sebelumnya dimasukkan sebagai nilai batas pada *low-pass filter* pada program Arduino IDE.

Penentuan Nilai Percepatan Terhadap Tegangan

Grafik yang dihasilkan dalam penentuan percepatan terhadap tegangan adalah fungsi sinusoidal. Untuk mengetahui nilai percepatan terhadap tegangan, diambil nilai percepatan puncak saja (*peak acceleration*). Selanjutnya nilai percepatan puncak terhadap tegangan diplot dalam grafik. Pada pemograman di Arduino Pro Mini, hasil percepatan dikonversi dahulu dari satuan g ke satuan gal, kemudian dicocokkan dengan Tabel 1 untuk dikonversi menjadi MMS untuk kemudian ditampilkan melalui LCD.

Program

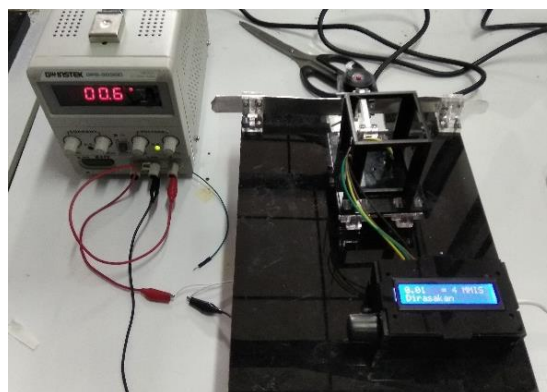
Program dibuat dengan menggunakan Arduino IDE. Alur kerja program dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah. Program pertama menginisialisasi LCD dan akselerometer MPU6050, kemudian program mulai membaca nilai MPU6050. Dilakukan transformasi Fourier untuk mendapatkan data frekuensi, kemudian karena *noise* pada umumnya berfrekuensi tinggi, maka dilakukan *low-pass filtering* agar data yang didapat adalah data dari akselerometer saja. Setelah itu, dilakukan *inverse Fourier transform* untuk mengembalikan data kembali ke *domain waktu*. Barulah data akselerometer dikonversi ke gal agar dapat dikonversi ke MMS sesuai dengan data Tabel 1. Hasil dalam MMS kemudian ditampilkan ke layar LCD agar dapat dilihat oleh pengguna.



Gambar 5. Diagram alir program

HASIL, DATA, DAN PENGOLAHAN

Prototipe yang dibuat berhasil dirangkai sesuai dengan desain yang telah dirancang. Pada gambar alat yang sudah jadi dapat dilihat pada Gambar 6.

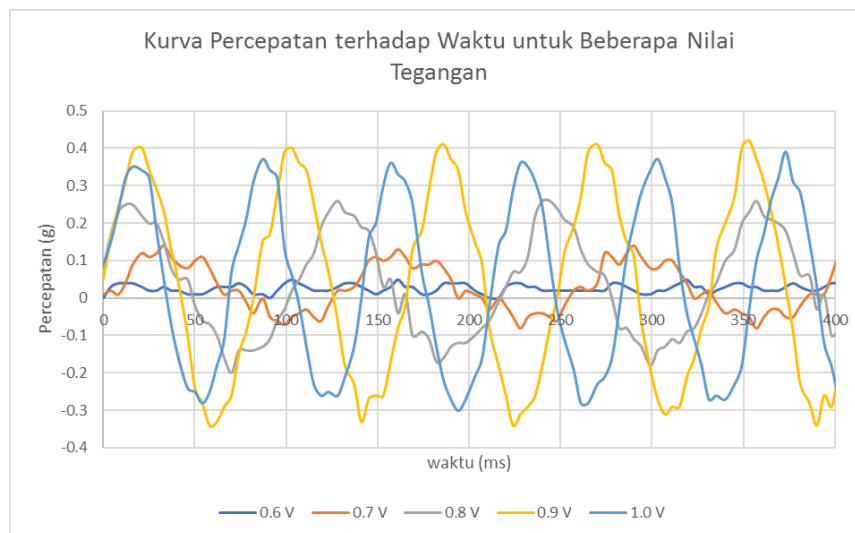


Gambar 6. Rupa alat tampak atas



Gambar 7. Hasil pembacaan getaran pada LCD

Ketika diberi variasi tegangan dari 0,6 hingga 1 V, motor dapat berputar dan menggerakkan bangunan. Bacaan gempa dalam MMS pun ditampilkan pada LCD seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.



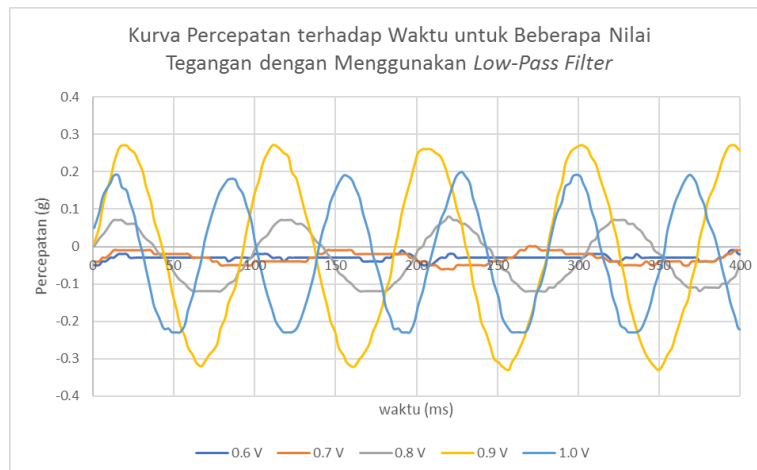
Gambar 8. Kurva percepatan terhadap waktu untuk 5 variasi tegangan

Pada Gambar 8 dapat dilihat grafik percepatan terhadap waktu untuk 5 variasi tegangan yang diberikan pada motor.

Tabel 2. Data frekuensi rata-rata putaran *unbalanced mass* dan tegangan

No.	Tegangan (Volt)	Frekuensi rata-rata (Hz)
1	0,6	7
2	0,7	8
3	0,8	9
4	0,9	12
5	1,0	14,5

Dari data pada yang menghasilkan Gambar 8, diamati nilai frekuensi rata-rata putaran *unbalanced mass* tersebut untuk setiap variasi tegangan pada motor. Frekuensi rata-rata tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai frekuensi yang telah didapat kemudian dimasukkan sebagai batas frekuensi pada *low-pass filter* pada Arduino IDE, sehingga dihasilkan grafik pada Gambar 9.



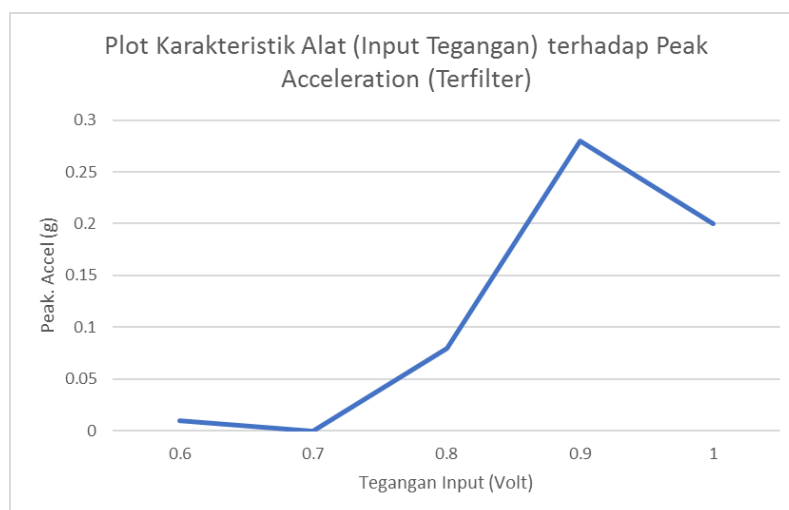
Gambar 9. Kurva percepatan terhadap waktu untuk beberapa nilai tegangan dengan menggunakan *low-pass filter*

Dari nilai percepatan pada grafik di Gambar 9, diperoleh hubungan percepatan maksimal terhadap tegangan yang terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data tegangan dengan percepatan maksimal alat

No.	Tegangan (Volt)	Percepatan maksimal (g)
1	0,6	0,03
2	0,7	0,03
3	0,8	0,1
4	0,9	0,305
5	1,0	0,22

Setelah itu, data pada Tabel 3 kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 10.



Gambar 10. Karakteristik Alat (input tegangan) terhadap *peak acceleration* yang sudah difilter

PEMBAHASAN

Pada Gambar 8 dan Gambar 9, terdapat data percepatan pada salah satu sumbu yang paralel dengan arah gerak osilasi terbesar (diantara ketiga sumbu) yang dialami prototipe dan juga sensor MPU6050 (sumbu y, dalam g) terhadap waktu (sumbu x, dalam ms) untuk beberapa variasi tegangan yang diberikan kepada motor DC. Percepatan yang diambil hanyalah pada satu sumbu karena secara umum prototipe hanya beresilasi pada satu arah. Dalam perhitungan *horizontal peak ground acceleration* (PGA), percepatan yang dibutuhkan adalah

percepatan yang paralel terhadap permukaan bumi. Waktu yang ditampilkan pada sumbu x dari kedua grafik tersebut hanyalah berentang 400 ms karena data pada rentang tersebut sudah mampu merepresentasikan periodisitas percepatan yang terjadi.

Pada Gambar 8, dapat dilihat secara kualitatif bahwa terdapat *noise*. Untuk menanggulangi hal tersebut, perlu dilakukan *signal processing*. *Signal processing* yang dilakukan adalah *low-pass filtering* karena *noise* adalah sinyal dengan frekuensi besar, sehingga dengan mekanisme *low-pass filtering*, *noise* dapat tereliminasi. Dari data pada Gambar 8, dicari frekuensi rata-rata untuk setiap variasi tegangan yang diberikan kepada motor DC. Nilai frekuensi rata-rata tersebut terdapat pada Tabel 2. Pencarian nilai frekuensi rata-rata dilakukan untuk menentukan batas pada *low-pass filtering*. Data pada Gambar 8 di *Fourier transform*, kemudian sinyal yang memiliki frekuensi di atas nilai rata-rata dieliminasi. Setelah itu, data di *inverse Fourier transform* agar kembali ke *domain* waktu. Hasil data yang telah diproses terdapat pada Gambar 9. Dapat dilihat secara kualitatif bahwa kurva terlihat lebih “halus”, artinya *noise* telah tereliminasi.

Dari data pada Gambar 8, diambil pula nilai percepatan puncak (*peak acceleration*) untuk setiap variasi tegangan yang diberikan. Nilai percepatan puncak tersebut terdapat pada Tabel 3. Dari data pada Tabel 3 di plot hubungan antara percepatan maksimal (sumbu y, dalam g) terhadap tegangan input pada motor DC (sumbu x, dalam Volt), sehingga dihasilkan grafik seperti pada Gambar 10. Hal yang menarik dari Gambar 10 adalah walaupun tegangan yang masuk ke motor DC (yang berkorelasi dengan kecepatan frekuensi rotasi motor DC) bertambah, belum tentu percepatan puncak dari prototipe bertambah. Dari Grafik 3, dapat dilihat bahwa percepatan puncak tertinggi dari prototipe terjadi saat motor DC diberikan tegangan sebesar 0,9 V. Saat tegangan di naikan ke 1,0 V, percepatan puncak dari prototipe berkurang. Hal tersebut terjadi karena pada saat motor DC diberikan tegangan sebesar 0,9 V, frekuensi rotasi dari motor DC bernilai sama dengan frekuensi alami dari prototipe, sehingga osilasi yang dihasilkan paling besar. Dengan melihat nilai rata-rata frekuensi prototipe apabila tegangan yang masuk ke motor DC adalah 0,9 V, dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa frekuensi alami dari prototipe adalah 12 Hz.

Nilai yang ditunjukkan pada LCD adalah dalam intensitas menurut MMS yang terlampir pada Tabel 1[3]. Nilai percepatan yang dikonversi kedalam intensitas menurut MMS adalah nilai percepatan puncak, karena peninjauan yang dilakukan selalu terhadap PGA. Secara kualitatif, dapat dengan mudah dipahami bahwa dalam gempa bumi, atau peninjauan bencana lainnya, nilai yang selalu diantisipasi adalah nilai maksimum atau puncak.

KESIMPULAN

Prototipe alat yang dibuat pada penelitian ini bekerja dengan baik. Gempa bumi dengan berbagai nilai frekuensi dapat disimulasikan dengan memvariasikan tegangan yang masuk ke motor DC. Nilai rata-rata frekuensi prototipe meningkat seiring meningkatnya tegangan yang masuk ke motor DC, namun memiliki puncak pada 0,9 V. Oleh karena pada saat tegangan yang masuk ke motor DC bernilai 0,9 V menghasilkan osilasi dengan frekuensi rata-rata sebesar 12 Hz pada prototipe, maka dapat disimpulkan juga bahwa nilai frekuensi alami dari prototipe adalah 12 Hz. Nilai percepatan puncak gempa bumi yang disimulasikan berhasil dikonversi dari nilai PGA menjadi intensitas menurut MMS sesuai dengan data konversi PGA ke MMS. Nilai intensitas menurut MMS tersebut kemudian ditampilkan pada LCD.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada staf Laboratorium Elektronika Fisika ITB yang telah mengizinkan peminjaman tempat dan alat-alat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan prototipe pendeteksi gempa bumi dengan menggunakan sensor akselerometer MPU6050 berbasis *unbalanced mass*. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada teman-teman kelas Sistem Sensor yang telah membantu dan juga menyemangati kami dalam menyelesaikan prototipe ini.

REFERENSI

1. Irwansyah, Edy, dan Winarko, Edi, *Zonasi Daerah Bahaya Kegempaan dengan Pendekatan Peak Ground Acceleration (PGA)*, Seminar Nasional Informatika (2012).
2. Anonim, *Modified Mercalli Scale*, diakses pada 3 Desember 2018. http://uwiseismic.com/Downloads/Eq_mercalli_scale.pdf

3. Wibowo, Budi Nugroho, dan Sembri, Juwita Nur, *Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) dan Intensitas Gempabumi berdasarkan Data Gempabumi Terasa Tahun 1981 - 2014 di Kabupaten Bantul Yogyakarta*, Indonesian Journal of Applied Physics (2016).
4. Anonim, *MMS (Modified Mercalli Intensity) Scale*, diakses pada 19 Desember 2018.
<https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-MMS.bmkg?lang=EN>
5. Anonim, *MPU6050 – Accelerometer and Gyroscope Module*, diakses pada 12 Desember 2018.
6. Firman, Beni, 2016, *Implementasi Sensor IMU MPU6050 Berbasis Serial I2C Pada Self-Balancing Robot*, Teknik Elektro, Institut Sains Teknologi Akprind Yogyakarta.