

PERANCANGAN SISTEM PENGHASIL GETARAN ARTIFISIAL PADA RENTANG UKUR FREKUENSI SANGAT RENDAH UNTUK LAYANAN KALIBRASI SEISMOMETER

DESIGN OF VERY LOW FREQUENCY ARTIFICIAL VIBRATION GENERATING SYSTEM FOR SEISMOMETER CALIBRATION SERVICES

Muhammad Haekal Habibie¹, Denny Hermawanto¹, Ninuk Ragil Prasasti¹, Bernadus Herdi Sirenden¹, Ahmad Mohammad Boynawan¹, Ghuftron Zaid¹, Prawito²

¹Pusat Penelitian Metrologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Kompleks Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15314

²Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Indonesia, Depok, 16424, Indonesia

muha082@gmail.com

ABSTRAK

Vibration exciter merupakan sistem pengukuran penghasil getaran *artificial* yang dapat bekerja dalam rentang ukur frekuensi tertentu. *Vibration exciter* dibutuhkan untuk menjawab kebutuhan permintaan kalibrasi alat ukur dengan lingkup *very low frequency vibration*, seperti sensor seismometer untuk mitigasi bencana gempa bumi. Perancangan penelitian ini terbagi menjadi dua bagian, yakni melakukan perancangan bagian elektronika dan perancangan bagian mekanika. Secara umum, sistem *vibration exciter* yang dibuat bekerja dengan cara memasukkan nilai PWM ke Arduino Uno yang menentukan nilai *duty cycle* dan memberikan tegangan kepada motor DC sebagai aktuator sehingga menimbulkan percepatan angular. Meja getar dari plat aluminium terhubung dengan motor DC dengan menggunakan *connecting rod* akan bergerak maju dan mundur secara translasi. Nilai pergerakan maju dan mundur akan dideteksi oleh sensor *accelerometer* dengan menggunakan *conditioning amplifier* akan mereduksi *noise* dari pengukuran yang dilakukan. Nilai frekuensi dan percepatan dari meja getar dapat dianalisis dengan metode transformasi Fourier dengan menggunakan *pulse analyzer*.

Kata kunci: *vibration exciter*, Arduino Uno, PWM, motor DC, frekuensi sangat rendah

ABSTRACT

The vibration exciter is an artificial vibration measurement systems producer who can work within a measuring range of specific frequencies. Vibration exciter needed to answer an order related to calibration of measuring instruments with very low frequency vibration sensor seismometer for earthquake disaster mitigation. The design of this research is divided into two parts, designing the electronics and mechanics parts. In general, a vibration exciter system works by entering PWM value into Arduino Uno to determine the value of the duty cycle and apply a voltage to a DC motor as an actuator causing angular acceleration. An aluminum plate vibrating table which is connected to a DC motor using a connecting rod will move forward and backward translation. The value of forward and backward movement is detected by the accelerometer sensor and the conditioning amplifier will reduce the noise of the measurements performed. The frequency and acceleration value of the vibrating table can be analyzed using Fourier transform method using a pulse analyzer.

Keywords: *vibration exciter, Arduino Uno, PWM, DC motor, very low frequency*

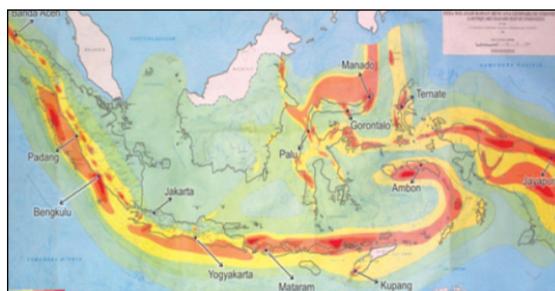
A. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang dikelilingi oleh tiga lempeng tektonik bumi yang aktif, yaitu Eurasian, Indo-Australian, dan Philipines. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara yang mempunyai aktivitas gempa paling tinggi. Secara umum, aktivitas vulkanik dari beberapa gunung berapi di Indonesia meningkat dalam beberapa waktu terakhir. Beberapa gunung bahkan

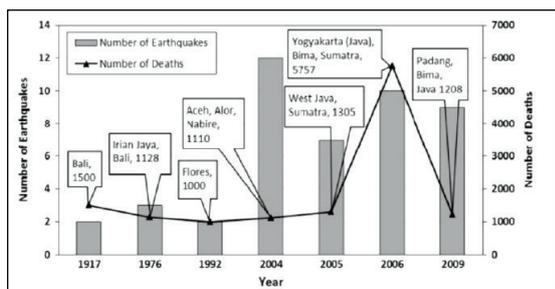
sudah meletus dengan mengeluarkan material vulkaniknya dari dalam perut bumi. Sebagai contoh, beberapa gunung yang tercatat meletus pada tahun 2016 ini adalah Gunung Rinjani di Nusa Tenggara Barat, Gunung Sinabung di Sumatra Utara, dan Gunung Gamalama di Maluku Utara. Timbulnya bencana alam letusan gunung berapi tersebut telah banyak menimbulkan kerugian materi dan korban jiwa.

Seperti yang dikutip dari harian *Radar Bali* pada tanggal 01 Agustus 2016,^[1] dampak kerugian dari letusan Gunung Rinjani mengakibatkan beberapa penerbangan ke bagian timur Pulau Bali dan Pulau Lombok terpaksa dibatalkan. Selain itu, ribuan wisatawan mancanegara membatalkan kunjungan wisatanya ke Pulau Bali dan Pulau Lombok yang berdampak pada kerugian pemasukan negara dari sektor pariwisata.

Secara konvensional, terdapat manifestasi alami akan terjadi gempa bumi antara lain:^[2] suhu di sekitar gunung meningkat, sumber air mengering, adanya gemuruh dan getaran, tumbuhan mulai layu, dan terjadinya migrasi hewan. Cara konvensional akan efektif dilakukan bila di sekitar gunung yang akan meletus tidak terdapat banyak pemukiman warga. Akan tetapi, bila di sekitar gunung yang akan meletus banyak terdapat pemukiman warga, seperti yang terjadi pada peristiwa meletusnya Gunung Sinabung yang dikutip dari laman berita BBC,^[3] dapat mengakibatkan sedikitnya enam orang tewas dan tiga orang luka-luka. Untuk mengurangi efek bencana yang ditimbulkan oleh gempa, metode mitigasi bencana perlu diterapkan, seperti membuat peta potensi bencana, pemantauan kegempaan, sistem *early warning*, dan lain-lain. Gambar 1 adalah gambaran gempa-gempa yang pernah



Gambar 1. Peta Gempa di Indonesia^[4]



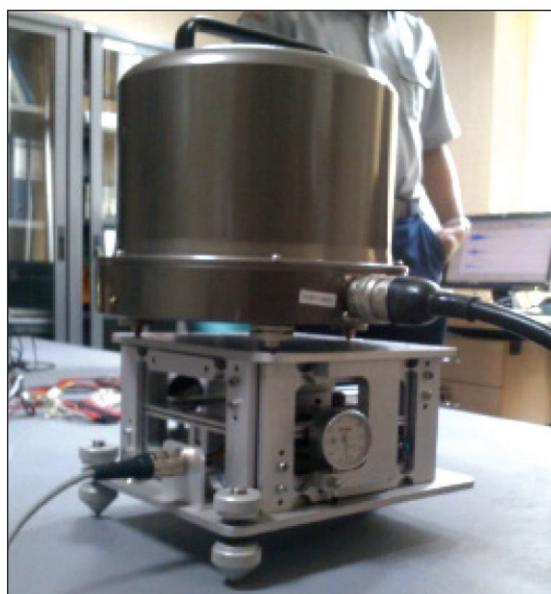
Gambar 2. Korban Gempa yang Mematikan^[5]

terjadi di Indonesia. Gambar 2 menunjukkan data beberapa gempa yang menimbulkan korban jiwa yang tidak sedikit.

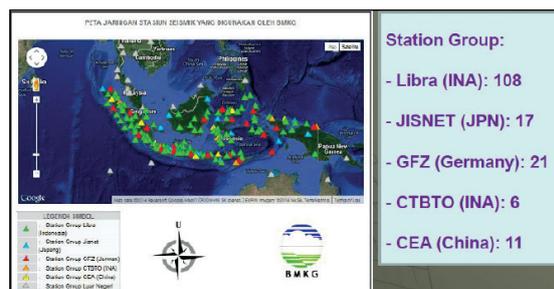
Untuk melakukan mitigasi bencana, pemerintah Indonesia telah melakukan pemantauan gempa di seluruh wilayah Indonesia yang disebut sebagai *Indonesia Tsunami Early Warning System* dengan cara memasang peralatan pengukur gempa yang disebut dengan seismometer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Selain Indonesia, beberapa negara juga menempatkan seismometer mereka di Indonesia, seperti Jepang, China, dan Jerman. Jumlah seismometer yang dimiliki Indonesia saat ini ada sebanyak 114, yang sebarannya dapat dilihat pada Gambar 4.

Jenis dari seismometer yang terpasang bermacam-macam, ada yang bertipe *short period* dan ada yang bertipe *broadband*. Peralatan ini merupakan komponen vital dalam proses mitigasi bencana gempa karena



Gambar 3. Peralatan Seismometer

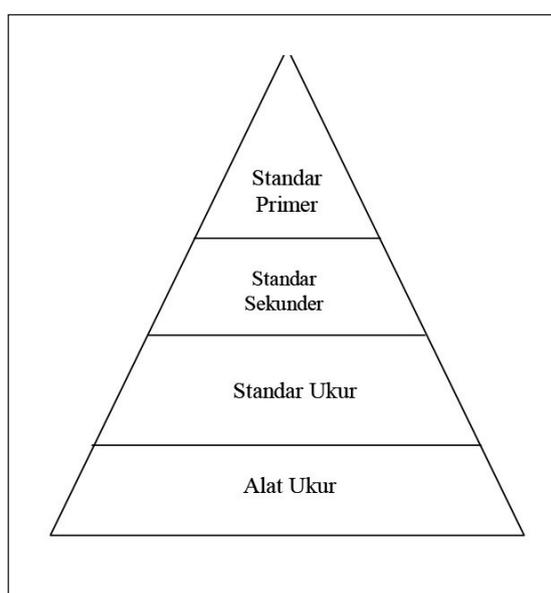


Gambar 4. Sebaran Seismometer di Indonesia^[6]

hasil pengukurannya akan dijadikan acuan dalam proses pengambilan keputusan apakah gempa yang terjadi merupakan gempa yang berpotensi menimbulkan bencana ataukah gempa yang tidak berpotensi menimbulkan bencana. Apabila hasil pengukurannya tidak dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah maka, dalam rangka mitigasi bencana, dapat menghasilkan keputusan yang salah yang berakibat fatal terhadap manusia yang sedang berada di lokasi gempa. Agar hasil pengukuran dari seismometer dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, peralatan ini wajib dikalibrasi secara berkala untuk mengetahui apakah hasil pengukurannya masih valid atau tidak.

Kalibrasi adalah suatu proses pada suatu kondisi yang spesifik yang menjelaskan hubungan di antara suatu nilai ukur dengan ketidakpastian tertentu yang dihasilkan oleh standar pengukuran.^[7] Kegiatan kalibrasi juga erat kaitannya dengan konsep ketertelusuran pengukuran di mana suatu alat ukur disebut tertelusur hasil ukurnya bila sudah terkalibrasi oleh standar acuan tertentu yang terlibat pada suatu rantai pengukuran yang tidak terputus dan merupakan hasil realisasi dari sistem internasional untuk satuan atau yang umumnya disebut *SI units*.

Gambar 5 merupakan piramida keterelusuran pengukuran yang menjelaskan klasifikasi dari sistem (standar/alat) pengukuran



Gambar 5. Piramida Ketertelusuran Pengukuran

dan hubungan di antaranya. Klasifikasi tersebut dibuat berdasarkan tingkat ketelitian, nilai ketidakpastian pengukuran, dan kelas atau *grading* dari suatu sistem pengukuran. Klasifikasi sistem pengukuran berdasarkan Gambar 5 di atas terbagi atas standar primer, standar referensi, standar ukur, dan alat ukur. Berdasarkan piramida pada Gambar 5, semakin ke bawah posisi dari standar atau alat ukur, nilai dari ketelitian dan ketidakpastian pengukurannya semakin membesar. Artinya, nilai sebenarnya atau *true value* dari pengukuran yang dihasilkan sistem tersebut semakin tidak pasti. Hal lain terkait piramida ketertelusuran pengukuran adalah bahwa alat ukur yang posisinya lebih di atas seyogianya dapat digunakan untuk mengkalibrasi alat ukur yang memiliki posisi di bawahnya sehingga tercipta proses yang dinamakan diseminasi nilai ukur atau peristiwa penurunan nilai ukur dari nilai suatu standar pengukuran melalui proses kalibrasi.

Di Indonesia, lembaga yang berwenang untuk melakukan pengelolaan Standar Nasional untuk Satuan Ukuran (SNSU) besaran fisis dan kimia (terkecuali lingkup radiasi pengion) adalah Pusat Penelitian Metrologi LIPI yang diberikan mandat sebagai pengelola standar utama di Indonesia (Lembaga Metrologi Nasional) menurut Perka LIPI Nomor 1 Tahun 2014. Sebagai pihak yang melakukan pengelolaan terhadap SNSU, Puslit Metrologi LIPI memiliki standar primer dan standar referensi yang memiliki fungsi untuk melakukan proses diseminasi nilai dari standar primer atau utama yang tertelusur ke sistem internasional untuk satuan ukuran (SI) melalui proses kalibrasi. Untuk menjamin nilai ukur dari standar pengukuran yang dimiliki, Puslit Metrologi secara reguler melakukan kegiatan uji banding internasional yang hasilnya dapat dilihat pada Appendix B CIPM MRA.^[8] Selain itu, kemampuan pengukuran dari sistem pengukuran yang ada di Puslit Metrologi LIPI atau yang dikenal dengan sebutan *Calibration Measurement Capabilities* (CMC), beberapa lingkungannya sudah diakui secara internasional dengan terdaftarnya di Appendix-C CIPM MRA.^[9]

Terkait dengan topik penelitian ini, sensor seismometer apabila dikaitkan dengan piramida

ketertelusuran pengukuran pada Gambar 5 terletak pada posisi paling bawah, yakni termasuk kategori sebagai alat ukur. Seismometer yang merupakan sensor getaran pada sistem seismograf perlu dikalibrasi secara berkala untuk mengetahui koreksinya terhadap nilai standar getaran sehingga hasil pengukurannya dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Saat ini, Puslit Metrologi sebagai lembaga metrologi nasional dan penyedia infrastruktur mutu belum memiliki kemampuan untuk melakukan kalibrasi seismometer sehingga semua seismometer yang dimiliki oleh Indonesia dikalibrasi ke negara lain. Oleh karena itu, melalui penelitian ini akan dilakukan rancang bangun prototipe *vibration exciter* yang dapat menghasilkan getaran pada rentang ukur *very low frequency*.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Sejauh ini, penelitian mengenai pembuatan prototipe penghasil getaran frekuensi sangat rendah sudah dilakukan di beberapa negara maju, seperti yang dilakukan oleh Mende dan Nicklich.^[10] Menurut Mende dan Nicklich, sistem pengukuran vibrasi frekuensi sangat rendah dapat diciptakan dengan membatasi kelajuan maksimum dari *exciter* yang akan dibuat. Hal ini bertujuan untuk mengurangi *noise* atau gangguan yang dapat terjadi seperti gaya gesek antarkomponen mekanik, vibrasi yang timbul, linearitas pergerakan sistem mekanik serta gangguan yang dapat ditimbulkan oleh komponen elektronika. Oleh karena itu, menurut Mende dan Nicklich, dalam melakukan perancangan alat perlu dibuat komponen mekanik penggerak dengan gaya gesek minimum serta pergerakan yang linear dan stabil.

Dari penelitiannya tersebut, Mende dan Nicklich. mengungkapkan bahwa untuk mengkomodasi permasalahan mengenai gaya gesek yang timbul agar menjadi minimum, dibutuhkan sistem *air bearing*, yakni pemberian udara pada komponen penggerak. Sementara itu, untuk menoleransi permasalahan akibat linearitas pergerakan sistem agar menjadi linear, diperlukan piston pada komponen mekanik dengan dimensi yang panjang (*long stroke*). Selain itu, untuk menekan laju vibrasi (*noise*)

dari eksternal sistem yang akan memengaruhi hasil ukur, dibutuhkan *vibration isolation*, yakni pemisahan antara *ground* tempat sistem penggerak berada dengan tanah di sekitar lingkungan. Cara berbeda dilakukan oleh Lee dkk (2013).^[11] untuk melakukan peredaman terhadap aktivitas vibrasi eksternal. Pada penelitiannya tersebut, Lee dkk. menggunakan plat metal, pegas, dan *dampers* yang dihubungkan dengan sistem pembuat getaran frekuensi sangat rendah agar vibrasi eksternal berpengaruh kecil kepada nilai ukur yang didapatkan.

Penelitian mengenai sistem pengukuran getaran frekuensi sangat rendah metode lainnya juga telah dilakukan oleh He dkk.^[12] Menurut He dkk., menggunakan *electromagnetic vibrators* dapat memperlebar rentang ukur frekuensi ketika pengukuran berlangsung. Pada penelitiannya, He dkk., menggunakan motor servo sebagai penggerak piston dengan mengaplikasikan *air bearing system*. Seluruh komponen tersebut dinamakan *long stroke horizontal electromagnetic vibrator* (LSEV).

Berbagai sistem pengukuran getaran frekuensi sangat rendah yang sudah dibuat tersebut, seperti yang dibahas pada paragraf di atas, selain membutuhkan tingkat pengetahuan dan keahlian yang memadai, juga diperlukan penelitian dalam jangka waktu yang lama serta biaya penelitian yang tidak sedikit sehingga pada penelitian ini perlu dibuat sistem penghasil getaran frekuensi sangat rendah dengan hasil yang optimal, waktu penelitian yang efisien, dan biaya operasional yang kecil. Dibandingkan prototipe sejenis yang sudah pernah dibuat, sistem pengukuran yang akan dibuat pada penelitian ini memiliki keuntungan antara lain:

- 1) Biaya operasional yang murah
- 2) Simplifikasi di beberapa bagian dan metode

C. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pembuatan rancang bangun *vibration exciter* untuk pengukuran frekuensi sangat rendah. Penelitian yang akan dilakukan ini memiliki batasan masalah, antara lain rentang ukur frekuensi yang diharapkan dapat terealisasi pada sistem pengukuran yang akan dibuat adalah berkisar

antara 0,1–10 Hz. Hal ini berdasarkan penelitian Ohm dkk.(2006)^[13] yang mengategorikan pengukuran frekuensi sangat rendah berada pada rentang ukur frekuensi di bawah 10 Hz. Sementara itu, menurut Rhorer dan Payne (2006).^[11] dalam penelitian pendahuluannya mengenai topik ini, untuk menghasilkan frekuensi yang sangat rendah (di bawah 1 Hz) diperlukan panjang piston sekitar 10 m.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Ohm dkk. (2006) dan Rhorer dan Payne (2006). ini dapat memberikan landasan pemikiran mengenai rentang ukur frekuensi yang akan digunakan. Rentang ukur frekuensi yang akan digunakan pada prototipe penghasil getaran ini berkisar antara 0,1–10 Hz. Hal tersebut dengan mempertimbangkan rentang ukur frekuensi tersebut masih termasuk dalam domain *very low frequency* dan rentang ukur alami dari gempa bumi.^[13] Selain itu, pembatasan juga dilakukan pada dimensi dari sistem yang akan dibuat agar tidak melampaui besar yang di antaranya dengan membatasi rentang ukur frekuensinya.

Prinsip kerja dari *vibration exciter* ini adalah diawali dengan pemrograman mikrokontroler pada *board* Arduino Uno untuk mengatur kelajuan dari motor DC. Input nilai ke mikrokontroler dilakukan menggunakan serial monitor pada *personal computer* (PC). Nilai yang dimasukkan adalah nilai PWM (*Pulse width modulation*) atau lebar pulsa yang akan menentukan besarnya kelajuan dari motor DC yang digunakan sebagai aktuator. *Shaft* Motor DC yang berputar berada satu poros dengan *crank* dan *connecting rod* digunakan untuk menghubungkan antara *crank* dan meja getar yang terbuat dari plat aluminium tempat diletakkannya *transducer* getaran. *Crank* dan *connecting rod* akan mengubah gerakan rotasi motor DC menjadi gerakan translasi dari meja getar. Metode konversi gerakan rotasi menjadi gerakan translasi dengan menggunakan *crank* dan *connecting rod* dinamakan *slider crank*.^[15] Motor DC akan mengendalikan kecepatan translasi dari meja getar secara maju dan mundur.

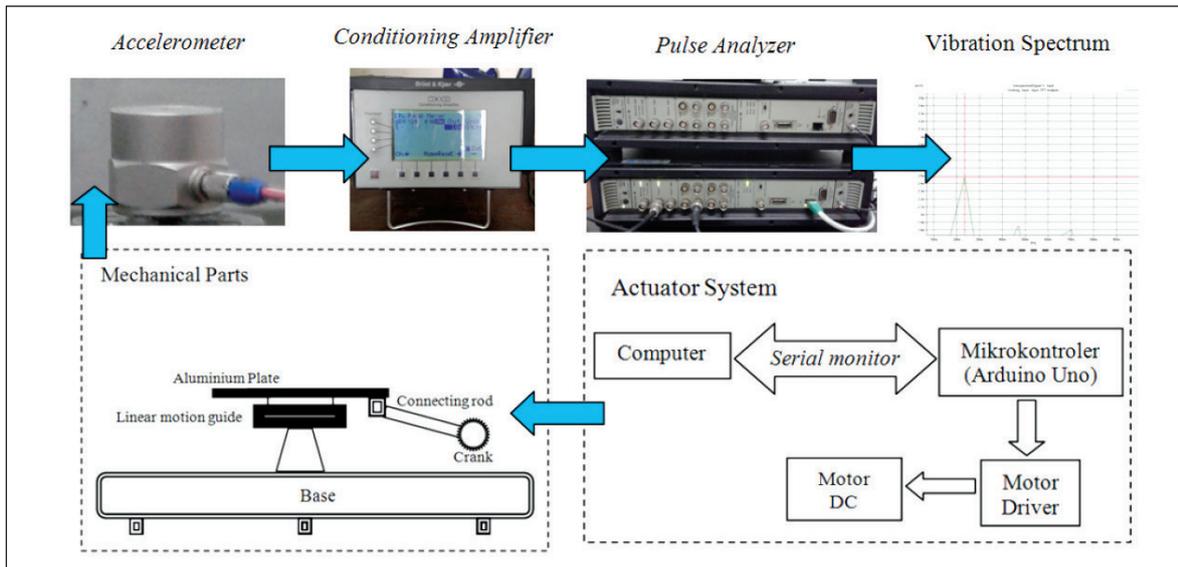
Pergerakan translasi yang dihasilkan oleh meja getar yang terbuat dari plat aluminium tersebut dikendalikan oleh mikrokontroler agar dapat bekerja pada frekuensi dengan rentang

ukur 0,1–10 Hz. Pengukuran percepatan pada sistem ini dilakukan dengan cara melakukan proses *mounting* antara *accelerometer* yang merupakan *transducer* percepatan dengan meja getar yang terhubung ke sistem penggerak mekanik. Hasil pergerakan maju dan mundur dari meja getar akan terdeteksi oleh *accelerometer* yang menghasilkan level tegangan tertentu, tergantung kecepatan dari sistem penggerak mekanik. Instrumen yang digunakan sebagai penganalisis dari pergerakan meja getar adalah *pulse analyzer* dengan memanfaatkan algoritma *fourier transform*. Gabungan dari sistem mekanik dan elektronik, seperti yang telah dibahas pada paragraf sebelumnya, merupakan sistem pengukuran getaran untuk frekuensi sangat rendah yang dirancang.

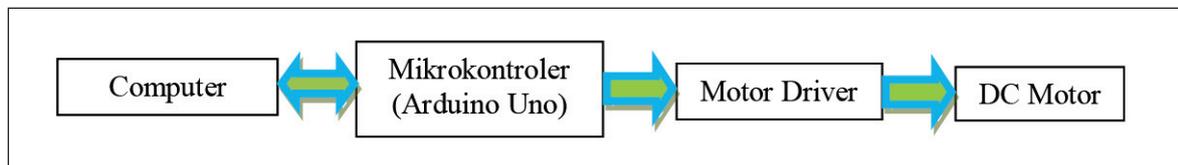
D. PEMBAHASAN

Ketika melakukan pengukuran percepatan dengan menggunakan sensor *accelerometer*, pemrosesan sinyal diperlukan agar mendapatkan hasil ukur yang baik. Pemrosesan sinyal tersebut dapat ditempuh dengan melakukan beberapa proses, seperti *filtering*, *amplifying*, dan *isolation*. *Device* tambahan yang dinamakan *conditioning amplifier* diperlukan untuk melakukan pemrosesan sinyal *output* dari *accelerometer*. Proses pemrosesan sinyal menggunakan *conditioning amplifier* tersebut akan mereduksi sinyal yang tidak dibutuhkan yang diakibatkan oleh adanya gangguan untuk mendapatkan nilai ukur sebenarnya. Selain itu, proses amplifikasi menggunakan *conditioning amplifier* juga dapat memberikan proses penguatan pada sinyal yang lemah.

Gambar 6 merupakan berbagai instrumen yang dibangun untuk membuat sistem pengukuran getaran frekuensi sangat rendah, sedangkan Gambar 7 dan Gambar 8 adalah blok diagram penelitian yang dilakukan. Berdasarkan blok diagram tersebut dapat disimpulkan bahwa sinyal *input* ke sistem penghasil getaran adalah melalui mikrokontroler yang berupa pengaturan nilai PWM. Secara umum, persamaan nilai *duty cycle* dengan metode PWM seperti yang tertera pada persamaan 1 dan persamaan 2 berikut ini:^[16]



Gambar 6. Sistem Pengukuran Vibrasi Frekuensi Sangat Rendah



Gambar 7. Blok Diagram Aktuator



Gambar 8. Blok Diagram Pengondisi Sinyal

$$DC(\%) = \left(\frac{T_{on}}{T_{pwm}} \right) \times 100 = \left(\frac{T_{on}}{T_{pwm} + T_{off}} \right) \times 100 \dots (1)$$

di mana:

T_{pwm} = Durasi waktu dari sinyal PWM (detik)

T_{ON} = Durasi waktu di mana sinyal digital *high* (detik)

T_{OFF} = Durasi waktu di mana sinyal digital *low* (detik)

Nilai tegangan yang digunakan untuk mendorong motor DC sebagai aktuator diberikan dengan persamaan berikut ini:

$$\epsilon_o = DC \times \epsilon_s \dots (2)$$

di mana:

ϵ_o : Tegangan *output* (volt)

ϵ_s : Tegangan sumber (volt)

Nilai *input* PWM tersebut digunakan untuk mengatur kecepatan angular dari motor DC. Kecepatan angular motor DC akan memberikan pergerakan pada meja getar pada sistem *vibration exciter*. Nilai komponen gerak (jarak, kecepatan, dan percepatan) pada *vibration exciter* akan dikonversi oleh *accelerometer* dalam bentuk tegangan. Nilai tegangan yang dihasilkan oleh *accelerometer* menjadi nilai *input* dari blok diagram pengondisi sinyal.

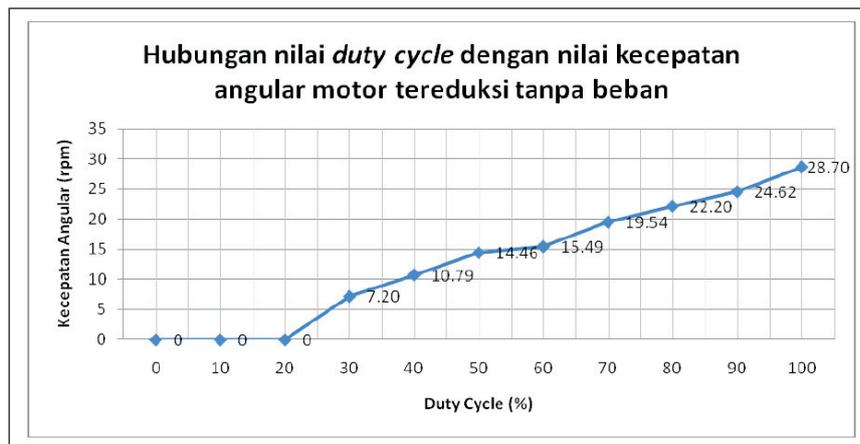
Hubungan antara nilai PWM dengan nilai tegangan adalah berbanding lurus. Artinya, setiap kenaikan nilai PWM pada *input* akan menghasilkan nilai percepatan yang meningkat. Sebaliknya, setiap penurunan nilai PWM pada *input* akan menghasilkan perlambatan pada sistem. Sebelum digunakan untuk melakukan pengukuran, *accelerometer* yang digunakan sebagai sensor percepatan dikalibrasi terlebih

dahulu dengan menggunakan *accelerometer* standar untuk mengetahui nilai sensitivitasnya. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan sistem pengukuran vibrasi yang tersedia di Puslit Metrologi LIPI.

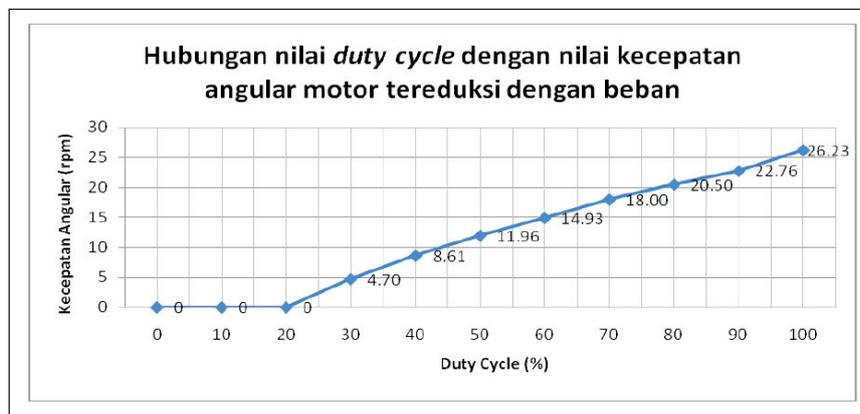
Sebelum digunakan, dilakukan kegiatan pengujian dan pengukuran pada komponen sistem *vibration exciter* terlebih dahulu. Pengujian dan pengukuran tersebut bertujuan untuk mencari nilai suatu besaran yang ingin diketahui, sinkronisasi antara *input* dan *output*, dan melakukan validasi terhadap kebenaran dari alat ukur yang digunakan. Kegiatan pengujian dan pengukuran yang dilakukan, antara lain pengujian pengukuran kecepatan angular dari motor DC pada kondisi tanpa beban dan dengan beban serta validasi *accelerometer* yang digunakan sebagai sensor. Hasil kegiatan pengukuran kecepatan angular dari motor DC tanpa beban dan dengan beban terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Gambar 9 menunjukkan, dalam hubungannya dengan pergerakan rotasi dari motor DC, secara eksperimen, nilai kecepatan linear minimum dari meja getar didapatkan ketika nilai *duty cycle* sebesar 30%, sedangkan nilai kecepatan linear maksimum dari meja getar didapatkan ketika nilai *duty cycle* yang diberikan 100%. Sementara itu, Gambar 10 menyimpulkan bahwa nilai kecepatan angular tereduksi dari motor DC berkisar antara 4,70–26,23 rpm, di mana arus listrik maksimal yang dapat diberikan ke motor DC adalah sebesar 1,6 Ampere. Hasil pengukuran lainnya yang didapatkan adalah nilai *stall current* atau arus minimum yang dibutuhkan untuk menjalankan motor DC adalah sebesar 0,45 Ampere, yakni ketika *duty cycle* 30%.

Hal yang selanjutnya dilakukan adalah proses validasi *accelerometer* yang digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi percepatan getar dan frekuensi dari meja getar. Proses



Gambar 9. Grafik Hubungan *Duty Cycle* dengan Kecepatan Angular Motor DC Tereduksi Ketika Tanpa Beban



Gambar 10. Grafik Hubungan *Duty Cycle* dengan Kecepatan Angular Motor DC Tereduksi Ketika dengan Beban



Gambar 11. Spektrum Sinyal Hasil Validasi *Accelerometer*

validasi bertujuan untuk melihat kebenaran dari nilai *accelerometer*. Validasi dilakukan dengan meletakkan *accelerometer* yang diuji (*device under test*, DUT) dengan *accelerometer* standar pada suatu *exciter* yang terkalibrasi untuk kemudian dilihat respon getarnya. Gambar 11 adalah hasil pengukuran proses karakterisasi dari *accelerometer*.

Berdasarkan hasil validasi yang ditampilkan pada Gambar 11, didapatkan hasil bahwa pengukuran respons frekuensi dan percepatan dari getaran oleh *accelerometer* DUT adalah valid. Hal ini dikarenakan *accelerometer* DUT memiliki respons frekuensi yang sama dengan *accelerometer* standar pada ketiga titik uji (1 Hz, 5 Hz, dan 10 Hz). Sedangkan nilai akselerasi yang didapatkan masih termasuk dalam toleransi yang ditetapkan, walaupun terdapat sedikit perbedaan nilai pada titik uji 1 Hz dan 5 Hz.

E. KESIMPULAN

- 1) Diperlukan sistem pengukuran yang bertujuan untuk mengkalibrasi sensor getar, seperti seismometer untuk mitigasi bencana gempa bumi. Penelitian yang dilakukan difokuskan untuk membuat *vibration exciter* yang dapat menimbulkan rentang ukur frekuensi 0,1–10 Hz.
- 2) Bagian sistem *vibration exciter* terbagi menjadi dua, yakni elektronika dan mekanika. Bagian elektronika terdiri dari *board* Arduino Uno, motor DC, dan *motor shield*, sedangkan bagian mekanika terdiri atas meja getar dari plat aluminium, *crank*, *connecting rod*, *linear motion guide*, *base*, dan tiang penyangga.
- 3) Diperlukan tahapan pemrosesan sinyal, seperti *filtering*, *amplifying*, dan *isolation* untuk menghilangkan *noise* pada pengukuran getaran. Oleh karena itu, dibutuhkan *device* tambahan yang dinamakan *conditioning amplifier*.
- 4) Pada tahapan pengujian sistem, ketika sistem dihubungkan ke beban, nilai *stall current* yang dibutuhkan sebesar 0,45 Ampere ketika nilai *duty cycle* sebesar 30%. Kecepatan angular dari motor DC berkisar antara 4,70–26,23 rpm
- 5) Hasil validasi terhadap *accelerometer* yang digunakan dapat dikatakan valid karena *accelerometer* memiliki respons frekuensi yang sama dengan *accelerometer* standar pada ketiga titik uji (1 Hz, 5 Hz, dan 10 Hz).

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian Metrologi–LIPI yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian ini beserta dengan fasilitas penunjangnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Radar Bali. 2016. “Gunung Rinjani Meletus, Penerbangan ke Lombok Ditutup,” Terakhir dimodifikasi pada Agustus 1, 2016. <http://radarwali.jawapos.com/read/2016/08/01/4648/gunung-rinjani-meletuspenerbangan-ke-lombok-ditutup>.
- [2] Merdeka. 2014. “5 Cara Alam Ingatkan Kita Akan Datangnya Letusan Gunung Berapi,” Terakhir dimodifikasi pada Februari 17, 2014. <https://www.merdeka.com/teknologi/5-cara-alam-ingatkan-kita-akan-datangnya-letusan-gunung-berapi.html>.
- [3] BBC. 2016. “BNPB: Enam tewas, tiga kritis akibat awan panas Sinabung.” Terakhir dimodifikasi pada Mei 22, 2016. http://www.bbc.com/indonesia/berita_indonesia/2016/05/160522_indonesia_korban_sinabung.
- [4] Winarno, S. 2011. “House Seismic Vulnerability and Mitigation Strategic: Cases of Yogyakarta City.” *Jurnal Penanggulangan Bencana* 2(2): 1–8.
- [5] Parwanto, N. B. dan T. Oyama. 2014. “A Statistical Analysis and Comparison of Historical Earthquake and Tsunami Disasters in Japan and Indonesia.” *International Journal of Disaster Risk Reduction* 7: 122–141.
- [6] BMKG. “Peta Jaringan Stasiun Seismik yang Digunakan oleh BMKG.” Diakses pada Diakses pada Januari 15, 2016. https://inatews.bmkg.go.id/new/meta_eq.php.
- [7] JCGM 200:2008. 2008. *International Vocabulary of Metrology: Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)*.
- [8] BIPM. 2016. “The BIPM Key Comparison Database, Metrology Area.” Diakses pada Januari 22, 2016. http://www.bipm.org/exalead_kcdb/exa_kcdb.jsp?_p=AppB&q=indonesia&x=0&y=0.

- [9] BIPM. 2016. "The BIPM Key Comparison Database, CMC Area." Diakses pada Januari 22, 2016. http://www.bipm.org/exalead_kcdb/exa_kcdb.jsp?_p=AppC&_q=indonesia&x=0&y=0.
- [10] Mende, M., dan H. Nicklich. 2015. "Calibration of Very Very low frequency Accelerometers: A Challenging Task." Diambil dari <http://www.sandv.com/downloads/1105nick.pdf>
- [11] Lee, G. M., Ju., dan Y.H. Park., M.S. 2013. "Development of A Very low frequency Shaker using MR Dampers." *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 14: 1647–1650.
- [12] He, W., X. Zhang, C. Wang, R. Shen, dan M. Yu. 2014. "A Long Stroke Horizontal Electromagnetic Vibrator for Ultralow-Frequency Vibration Calibration." *Measurement Science and Technology* 25: 1–6.
- [13] Ohm, W. K., L. Wu, P. Hanes, dan G. S. K. Wong. 2006. "Generation of Very Low Frequency Vibration Using A Cantilever Beam for Calibration Accelerometers." *Journal of Sound and Vibration* 289: 192–209.
- [14] Rhorer, D., dan B. Payne. 2001. Preliminary Design of a very low frequency vibration calibration system. *ASPE Proceedings*.
- [15] Dewanto, J., dan N. Jonoadji. 1999. "Mekanisme Gerak Translasi Bolak-Balik dengan Ulir Silang." *Jurnal Teknik Mesin* 1(1): 14–18.
- [16] Lee, W. H., B. J. Gu, Y. Nishida, H. Takao, K. Sawada, dan M. Ishida. 2010. "Oscillation-Controlled CMOS Ring Oscillator for Wireless Sensor Systems." *Microelectronics Journal* 41: 815–819.