

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

**24 SEPTEMBER 2017**

### APLIKASI MULTISENSOR SLM DISERTAI SISTEM DATA LOGGER BERBASIS ARDUINO UNO SEBAGAI ALAT UKUR KEBISINGAN

**Azen Ramadan**

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, UNIVERSITAS JEMBER  
[ramaazendan@gmail.com](mailto:ramaazendan@gmail.com)

**Alex Harijanto**

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, UNIVERSITAS JEMBER  
[alexharijanto.fkip@unej.ac.id](mailto:alexharijanto.fkip@unej.ac.id)

**Sri Handono**

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, UNIVERSITAS JEMBER  
[srihandono.fkip@unej.ac.id](mailto:srihandono.fkip@unej.ac.id)

#### ABSTRAK

Kebisingan dapat terjadi di wilayah perkotaan padat penduduk. Sebagai contoh misalnya di SMP Negeri 2 Jember yang letaknya di wilayah perkotaan dimana kebisingan sering mengganggu proses belajar mengajar di sekolah. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengkaji tingkat kebisingan rata-rata di SMP Negeri 2 Jember pada pagi, siang dan malam hari. Pemerintah menetapkan tingkat intensitas bunyi di tempat pendidikan non-kebisingan adalah 45-55 dB. Metode pengukuran tingkat intensitas suara di tempat pendidikan pagi, siang dan malam dibutuhkan alat untuk merekam data pada pagi, siang dan malam hari. Arduino adalah kombinasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dengan persyaratan sumber daya rendah, yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan objek (jumlah fisik) di sekitarnya. Modul sensor suara mikrofon *Keyes-037* adalah detektor suara dengan sensitivitas tinggi. *SKU-316412* adalah sistem pencatatan data yang dilengkapi dengan kartu SD yang mampu menyimpan data 32 MB sampai 8 GB. Arduino dan kedua modul tersebut dapat dirakit menjadi alat ukur dan intensitas perekaman suara untuk ditempatkan di SMP Negeri 2 Jember.

**Kata Kunci:** *kebisngan, Arduino, Multisensor, Data logger*

#### PENDAHULUAN

Faktor penting dalam kehidupan sosial dimasyarakat adalah kesehatan lingkungan. Berbagai aktivitas kegiatan masyarakat baik yang disadari ataupun tidak disadari dapat menimbulkan sumber kebisingan dengan tingkat intensitas yang berbeda. Seiring dengan perkembangan zaman atau di era globalisasi teknologi dibidang industri semakin canggih dan berkembang, hal ini diakibatkan oleh karena kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Lingkungan yang sehat sangat dibutuhkan bukan hanya untuk meningkatkan derajat kesehatan masyarakat, tetapi juga untuk meningkatkan kesehatan psikologis masyarakat. Contoh dampak positif dari lingkungan yang sehat ditinjau dari sisi psikologis yaitu terciptanya kenyamanan hidup, terhindar dari stress,

dan meningkatnya konsentrasi dalam proses pembelajaran.

Kebisingan dapat terjadi di wilayah perkotaan padat penduduk, daerah industri, bandara, perumahan dekat dengan rel kereta api, studio musik, di sekolah, seperti sekolah yang terletak dipinggir jalan raya. Berdasarkan observasi yang dilakukan peneliti, keramaian kota Jember dikarenakan mobilitas masyarakat yang semakin meningkat, memberikan dampak bising di ruas-ruas jalan yang ada di kota Jember, contohnya seperti di lingkungan SMP Negeri 2 Jember. SMP Negeri 2 Jember terletak tepat di pusat keramaian kota Jember, sehingga paparan kebisingan diduga sering terjadi di lingkungan SMP Negeri 2 Jember. Di SMP Negeri 2 Jember

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

**24 SEPTEMBER 2017**

kebisingan sering kali terjadi pada saat proses belajar mengajar, karena letak kelas dari sekolah tersebut berdekatan dengan jalan raya sedangkan kendaraan yang melintas di jalanan tersebut sangat ramai, sehingga suara-suara bising sering mengganggu aktifitas belajar mengajar di sekolah. Selain berdekatan dengan jalan raya letak SMP Negeri 2 Jember juga berdekatan dengan tempat pemberhentian lalu lintas (traffic light), sehingga sangat rawan dengan paparan polusi kebisingan.

Sound Level Meter merupakan suatu alat untuk mengukur kebisingan. Alat ini sangat cocok digunakan dalam ruangan. SLM adalah alat ukur dengan basis pengukuran elektronik, meskipun pengukuran dapat dibuat secara langsung secara mekanis, sistem pengukuran elektronik mempunyai banyak keuntungan untuk beberapa pengukuran antara lain kecepatan sistem dalam pengambilan data, pengiriman, pengolahan, dan penyimpanan data (Buchla dan Mc Lahan, 1992). Gabriel (1999 dalam Feidihal, 2007:3) menyebutkan bahwa Sound Level Meter dapat digunakan untuk mengukur tingkat intensitas bunyi dengan rentang antara 30-130 dB dan frekuensi antara 20-20.000 Hz. Sehingga adanya alat ini, masalah kebisingan lingkungan dapat diatasi dengan membuat barrier (pembatas) kebisingan di tempat bising yang sesuai hasil pengukuran menggunakan SLM. Selain menggunakan Sound Level Meter (SLM) produksi pabrik, kebisingan dapat pula diukur menggunakan SLM hasil rakitan sendiri.

Seiring berkembangnya dunia elektronik yang semakin pesat pada saat ini, terciptalah teknologi digital yang menjadi awal mula dibuatnya piranti canggih yang disebut mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino. Menurut (djuandi, 2011:8) Arduino merupakan sebuah platform dari physical computing yang bersifat open source. Arduino dirancang untuk memudahkan penggunaan alat elektronik dalam berbagai bidang dengan menggunakan arduino perancang dapat memodifikasi sendiri rangkaian alat yang akan dibuat. Dari uraian tersebut, peneliti tertarik untuk merancang alat ukur kebisingan menggunakan mikrokontroler arduino uno.

Penelitian terkait pembuatan alat elektronik berbasis arduino telah banyak dilakukan, misalnya penelitian yang dilakukan oleh Moh Hishomudin (2016) tentang “Rancang Bangun Alat Ukur Tingkat Bunyi (Sound Level Meter) dengan Sensor Microphone Berbasis Arduino dan Android”. Pada penelitian ini, peneliti merancang alat ukur tingkat intensitas bunyi menggunakan mikrokontroler arduino. Namun, belum terdapat sistem data logger untuk menyimpan data hasil pengukuran pada decibel meter hasil rakitan peneliti. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Intan Nurjannah (2017) tentang “Rancang Bangun SLM (Sound Level Meter) Disertai Sistem Data Logger Berbasis Arduino Uno Sebagai Alat Ukur Kebisingan di Masjid Sunan Kalijaga Jember”. Pada penelitian ini, peneliti merancang alat ukur tingkat intensitas bunyi menggunakan arduino uno dan sistem data logger untuk menyimpan data hasil pengukuran. Namun, alat ukur tersebut hanya menggunakan (satu) sensor pengukuran pada (lima) titik, dilakukan secara bergantian, dalam pemindahan serta pengukuran terdapat faktor lingkungan yang mempengaruhi misalnya suhu, kelembapan, dll. Sehingga diperlukan penelitian lanjutan sebagai pengembangan dari penelitian sebelumnya dengan menambahkan multisensor pada alat rakitan.

Berdasarkan uraian diatas, dirasa perlu melakukan penelitian yang bertujuan Mengkaji tingkat kebisingan rata-rata di SMP Negeri 2 Jember pada pagi, siang dan malam hari diukur menggunakan *multisensor* SLM disertai sistem data logger berbasis arduino.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian pengembangan, dengan penentuan daerah penelitian menggunakan metode *purpose sampling area*. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur kebisingan rata-rata di SMP Negeri 2 Jember. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah: (1) Jarak antara alat ukur dengan sumber bunyi; (2) Waktu pengukuran, yaitu pada pagi, siang dan malam hari. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah tingkat intensitas bunyi. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah alat ukur, yaitu SLM (sound level meter) standar pabrik.

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

**24 SEPTEMBER 2017**

Pada pengukuran tingkat intensitas bunyi dalam penelitian ini, digunakan alat ukur berupa Multisensor SLM (Sound Level Meter) rancangan peneliti. Sebelum digunakan, SLM hasil rancangan peneliti diuji keakuratannya dengan cara membandingkan data hasil pengukuran menggunakan multisensor SLM rancangan peneliti dengan SLM buatan pabrik.

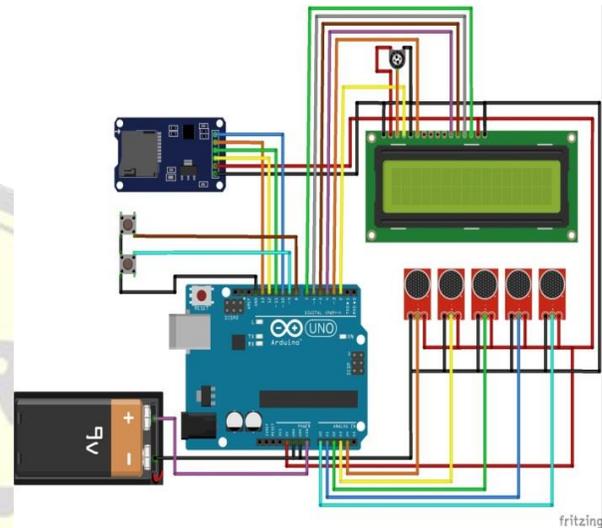
Sumber bunyi pada penelitian ini adalah bunyi yang dihasilkan oleh lalu lintas kendaraan di jalan. Letak sumber bunyi diasumsikan tetap dan tidak berpindah, yaitu 9 meter dari bagian ruangan kelas IX F SMP Negeri 2 Jember. Penempatan alat dilakukan dengan cara meletakkan secara bersamaan sensor satu alat pada masing-masing titik yang sudah ditentukan.

- 1) Titik 1: terletak dibagian tengah dari pintu masuk ruangan suatu tempat. Jarak dari sumber bunyi (jalan raya) adalah 9 meter.
- 2) Titik 2: terletak dibagian sudut kanan dari pintu masuk ruangan suatu tempat. Jarak dari sumber bunyi (jalan raya) adalah 11,8 meter.
- 3) Titik 3: terletak dibagian sudut kanan jauh dari pintu masuk ruangan suatu tempat. Jarak dari sumber bunyi (jalan raya) adalah 14 meter.
- 4) Titik 4: terletak dibagian sudut kiri dari pintu masuk ruangan suatu tempat. Jarak dari sumber bunyi (jalan raya) adalah 11,8 meter.
- 5) Titik 5: terletak dibagian sudut kiri jauh dari pintu masuk ruangan suatu tempat. Jarak dari sumber bunyi (jalan raya) adalah 14 meter.

Pengukuran dilakukan pada pagi, siang dan malam hari, dengan ketentuan sebagai berikut:

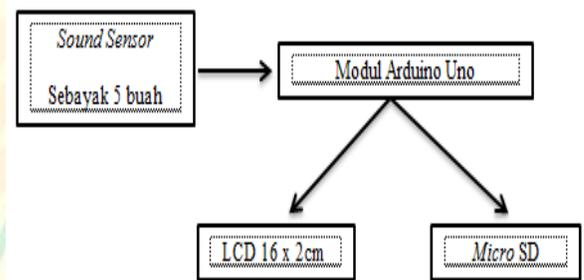
- a) L1 diambil pada jam 07.00 mewakili jam 06.00-10.00
- b) L2 diambil pada jam 11.30 mewakili jam 10.00-17.00
- c) L3 diambil pada jam 18.00 mewakili jam 17.00-19.00

Pengukuran tingkat intensitas bunyi (dB) dilakukan selama 10 menit untuk tiap pengukuran. Pembacaan dilakukan setiap 5 (detik) sekali. Hasil bacaan secara otomatis tersimpan dalam sistem data logger pada rangkaian alat ukur.



**Gambar. 1 Desain Alat**

Desain blok perancangan alat



**Gambar. 2 Diagram blok perancangan alat**

Rancangan alat sendiri terdiri dari Sound Sensor sebanyak 5 buah sebagai input pendeteksi bunyi, arduino sebagai mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat pengendali rangkaian, LCD sebagai output tampilan, dan sistem data logger sebagai output penyimpanan data yang telah didapat selama pengukuran.

Teknik analisis data yang digunakan untuk mengukur dan mengkaji tingkat intensitas bunyi adalah sebagai berikut:

- a. Tabel tingkat intensitas bunyi (dB) pada L1 diisi dengan data hasil pengukuran rata-rata pada 08.00. pengukuran pada titik dilakukan selama 10 menit, dengan pencatatan hasil ukur tiap 5 detik. Jadi, ada 120 data pada pengukuran pukul 08.00 di setiap titik. Kemudian, seluruh data yang didapat pada 5 titik pengukuran dirata-rata dan dimasukkan pada

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

24 SEPTEMBER 2017

tabel kolom tingkat intensitas bunyi (dB) (pada L<sub>1</sub>)..

- b. Pada kolom L<sub>eq</sub> (dB), dibagi menjadi tiga bagian, yaitu L<sub>P</sub>, L<sub>S</sub>, dan L<sub>M</sub>. L<sub>P</sub> merupakan L<sub>eq</sub> pada pagi hari, L<sub>S</sub> merupakan L<sub>eq</sub> pada siang hari, sedangkan L<sub>M</sub> merupakan L<sub>eq</sub> pada malam hari. Berdasarkan waktu pengambilan data, L<sub>P</sub>, L<sub>S</sub>, dan L<sub>M</sub> dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$L_P = 10 \log 1/3 \{T1 10^{0.1L1}\} \text{ dB (A)} \quad (1)$$

$$L_S = 10 \log 1/7 \{T2 10^{0.1L2}\} \text{ dB (A)} \quad (2)$$

$$L_M = 10 \log 1/2 \{T3 10^{0.1L1}\} \text{ dB (A)} \quad (3)$$

dimana T merupakan rentang waktu pada tiap pengukuran (Tiap L). Misalkan pada L<sub>1</sub>, dilakukan pengukuran pada pukul 08.00 mewakili pukul 07.00 - 10.00.

- c. Pada kolom terakhir, terdapat data L<sub>PSM</sub> (dB). L<sub>PSM</sub> merupakan L<sub>eq</sub> selama pagi, siang dan malam hari. Perhitungan nilai L<sub>PSM</sub> dimaksudkan untuk mengetahui apakah kebisingan sudah melampaui tingkat kebisingan atau tidak. L<sub>PSM</sub> dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$L_{PSM} = 10 \log 1/12 (3 \cdot 10^{0.1L_P} + 7 \cdot 10^{0.1L_S} + \dots + 2 \cdot 10^{0.1L_M}) \quad (4)$$

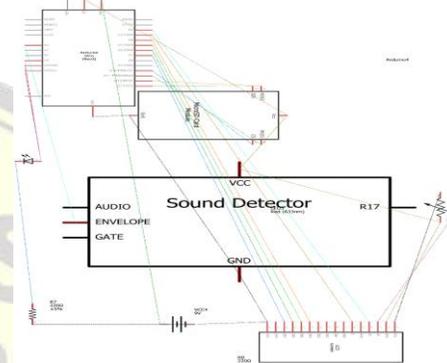
- d. Setelah diketahui nilai L<sub>PSM</sub>, selanjutnya tingkat kebisingan di SMP Negeri 2 Jember dapat dikategorikan sebagai tempat yang memenuhi standar atau tidak, berdasarkan keputusan pemerintah tentang standar nilai kebisingan maksimal di Pendidikan, yaitu 45-55 dB. (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-48/MENLH/11/1996).

Ada 2 macam data yang diambil. Data pertama adalah data kalibrasi perakitan rakitan dibandingkan dengan pabrik produksi SLM. Data kedua adalah sampel data yang mengukur intensitas suara di Masjid Sunan Kalijaga di Jember pada siang dan malam hari. Data ditempatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

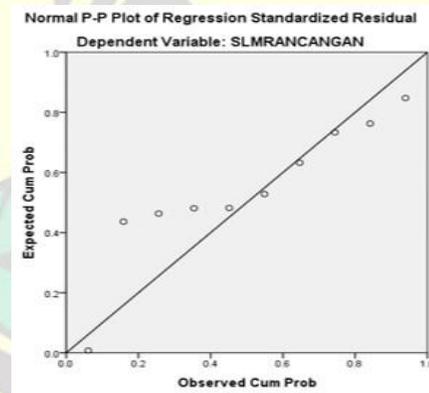
Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil kalibrasi

alat perancang SLM perancangan dengan pabrik produksi SLM. Selain itu, kami juga membahas data sampel yang diambil di SMP Negeri 2 Jember Pagi, siang dan malam, seperti yang dijelaskan di bab metodologi.



Gambar. 3 Skema perangkat keras penyusun SLM

Uji akurasi SLM pada desain penelitian dilakukan dengan mengkalibrasi hasil pengukuran dengan menggunakan kalibrator tipe SLM DEK-O SL-130. Grafik menunjukkan normalitas sebagai berikut:



Gambar. 4 Grafik normalitas hasil kalibrasi

Output dari kedua perangkat dinormalisasi untuk mengukur tingkat intensitas suara. Grafik normalitas menunjukkan data normal, dimana data sampel berada tidak jauh dari garis probabilitas normal. Hal ini menunjukkan bahwa SLM rancangan peneliti telah valid dan dapat digunakan sebagai alat ukur kebisingan standar

Berikut adalah tabel data kalibrasi:

Tabel. 1 Data Kalibrasi yang Digunakan Standard SLM

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

24 SEPTEMBER 2017

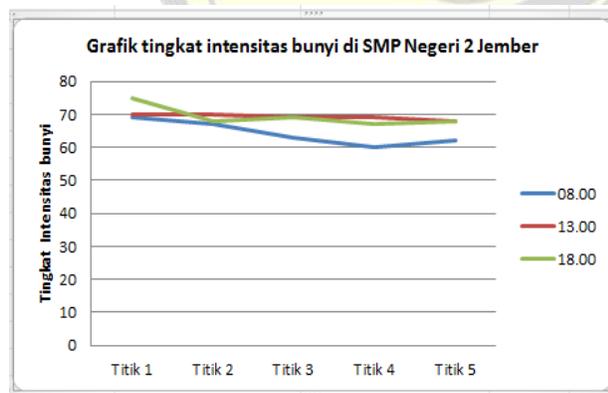
No.	Nilai Tingkat Intensitas Bunyi pada SLM pabrik (dB)	Nilai Tingkat Intensitas Bunyi pada SLM rakitan (dB)	Nilai error (%)
1.	60.1	59.69	0.682196
2.	57.6	57.39	0.364583
3.	54.3	53.93	0.6814
4.	54.2	53.93	0.498155
5.	69.4	64.15	7.564841
6.	71.8	73.55	-2.43733
7.	72.0	73.55	-2.15278
8.	72.1	73.02	-1.27601
9.	61.9	64.15	-3.63489
10.	59.6	59.69	-0.15101

Berikut adalah hasil sampel dari pengukuran tingkat intensitas suara di SMP Negeri 2 Jember ditunjukkan di bawah ini:

**Tabel. 2 Data hasil sampel dari pengukuran tingkat intensitas suara di SMP Negeri 2 Jember**

Waktu pengukuran	Pukul	Simbol	Rata-rata TI dititik 1	Rata-rata TI dititik 2	Rata-rata TI dititik 3	Rata-rata TI dititik 4	Rata-rata TI dititik 5	Rata-rata TI di 5 titik	$L_{eq}$ (dB)	$L_{ps}$ M (dB)
Pagi	08.00	L1	69.266 47	67.305 38	63.980 05	60.305 38	62.780 84	64.73	60.00	63.97
Siang	13.00	L2	70.837 48	70.263 45	69.014 71	69.771 26	68.111 85	69.60	62.32	
Malam	18.00	L3	75.323 95	68.100 25	69.0147 1	67.980 51	68.605 88	69.80	66.98	

Grafik hasil sampel dari pengukuran tingkat intensitas suara di SMP Negeri 2 Jember pada pagi, siang dan malam hari:



**Gambar. 5 Grafik data sampel dari pengukuran tingkat intensitas suara**

### PENUTUP SIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh dari kalibrasi, dapat disimpulkan bahwa data output dari SLM yang dibuat oleh peneliti mendekati data output dari standar SLM yang diproduksi oleh pabrik. Kesalahan maksimum perangkat adalah 7,56%. Ini tidak lebih dari 10%. Ini membuktikan bahwa SLM yang dibuat oleh peneliti telah berhasil dilakukan sebagai alat pengukur tingkat intensitas suara

Dalam data, peneliti menemukan bahwa tingkat intensitas di SMP Negeri 2 Jember di pagi, siang dan malam hari memiliki nilai yang fluktuatif, tergantung dari jumlah sumber suara. Dalam penelitian ini, sumber suara adalah kendaraan yang lewat di jalan raya. Hasil bisa dilihat pada grafik. Selain itu, bisa juga

Disimpulkan juga untuk meningkatkan rata-rata di SMP Negeri 2 Jember di pagi, siang dan malam hari melebihi tingkat standar untuk tempat ibadah yang ditetapkan oleh pemerintah, yaitu 55 dB. Rata-rata intensitas tertinggi terjadi pada pukul 18.00, dengan nilai 66.98 dB. Tingkat intensitas suara terendah terjadi pukul 08.00, dengan nilai 60,00 dB.

### SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka peneliti menyarankan untuk menempatkan beberapa bahan yang bisa menyerap suara di sekolah. Sebagai contoh, kita bisa menempatkan spons, ornamen dinding, atau material yang ditempatkan di plafon, yang memiliki karakter kedap suara.

### DAFTAR PUSTAKA

- Adi, A. N. 2010. *Mekatronika*. 2010. Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu. Amazon. com. 2017. <http://www.amazon.in/Sandisk-Class-MicroSDHC-Memory-SDSDQM-008G-B35/dp/B001DOROGO>. [Diakses pada 11 Januari 2017].
- Arduino.2017.<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. [Diakses pada 10 Januari 2017].
- Arkundato, A., L. Rahman, Sutisna, I. Rafi'I, D. D. Warnana, dan Endarko. 2007. *Alat Ukur dan Metode Pengukuran*. Jakarta: Universitas Terbuka.

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

**24 SEPTEMBER 2017**

- Ariyanto, L. 2016. *Sistem Data Logger Kincir Angin Propeler Berbahan Kayu*. Skripsi. Yogyakarta: Program Studi Teknik Elektro Universitas Sanata Dharma.
- Artanto, D. 2012. *Interaksi Arduino dan LabVIEW*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Buchari, 2007. *Kebisingan Industri dan Hearing Conservation Program*. Repositori. USU. <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/1435/1/07002749.pdf>. [Diakses pada 25 September 2016].
- Elektronika Dasar. 2013. <http://elektronika-dasar.web.id/konsep-dasar-diode/>. [Diakses pada 23 Juni 2017].
- Feidihal. 2007. *Tingkat Kebisingan dan Pengaruhnya Terhadap Mahasiswa di Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang*. *Jurnal Teknik Mesin*. 4(1): 31-41.
- Fitriandi, A., E. Komalasari, dan H.Gusmedi. 2016. *Rancang bangun alat monitoring arus dan tegangan berbasis mikrokontroler dngan SMS gateway*. *ELECTRICIAN-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*. 10(2):93.
- Fitriya, E.M. 2013. *Pemetaan Distribusi Tingkat Akustik pada Tempat Ibadah di Kota Jember*. Skripsi. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Fritzing. 2017. <http://fritzing.org/download/>. [Diakses pada 17 Juli 2017].
- Gabriel, J. F. 1996. *Fisika Kedokteran*. Jakarta: EGC.
- Giancoli, D. C. 2001. *Physics: Principles with Applications*. 5th ed. United States: Prentice-Hall, Inc. Terjemahan Oleh Y. Hanum. 2001. Fisika. Edisi Kelima. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D., Resnick, R., dan Walker, J. 2005. *Physics*. 7th Extended Edition. England: John Wiley & Sons Ltd. Terjemahan oleh Tim Pengajar Fisika ITB. 2010. *Fisika Dasar*. Edisi Ketujuh. Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Hartono, R. 2013. *Perancangan Sistem Data Logger Temperatur Baterai Berbasis Arduino Uno Duemilanove*. Proyek Akhir. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Jati, B.M.E dan Tri K.P. 2009. *Fisika Dasar untuk Mahasiswa Ilmu Komputer & Informatika*. Yogyakarta: ANDI.
- Nurjanah, Intan. 2017. *Rancang Bangun SLM (Sound Level Meter) disertai Data Logger Baerbasis Arduino Uno Sebagai Alat Ukur Kebisingan di Masjid Sunan Kalijaga Jember*. Skripsi. Jember. Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember.
- Pain, H.J. 1995. *The Physics of Vibration and Waves*. England: John Wiley & Sons Ltd.
- Rossing, T. D. 1990. *The Science of Sound*. 2nd ed. USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.