

# Uji Efisiensi Filter Partikulat Berbahan Serbuk Kayu dan Lem Kayu untuk Mengurangi Emisi PM<sub>2,5</sub> dari Sepeda Motor

Arinto Y. P. Wardoyo<sup>1)\*</sup>, Arsyal K. Rumpoko<sup>1)</sup>, Abdurrouf<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Laboratorium Air Quality and Astro Imaging, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Brawijaya  
Jl. Veteran Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia

Diterima 14 Agustus 2018, direvisi 24 September 2018

## ABSTRAK

Perkembangan populasi kendaraan bermotor di Indonesia mengakibatkan terjadinya peningkatan konsentrasi polutan di udara *ambient*, seperti partikulat dengan diameter <2,5 µm atau *fine particle* (PM<sub>2,5</sub>). Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengurangi konsentrasi PM<sub>2,5</sub> yang berasal dari emisi kendaraan bermotor, seperti filter partikulat yang terbuat dari biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan filter partikulat PM<sub>2,5</sub> berbahan biomassa dengan tiga variasi filter. Filter terbuat dari campuran serbuk kayu dan lem kayu dengan perbandingan komposisi yang berbeda-beda, yakni varian 1 (Filter 1), varian 2 (Filter 2), dan varian 3 (Filter 3). Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> yang diemisikan oleh lima sampel sepeda motor (sebelum dan sesudah difilter) diukur menggunakan Digital Dust Monitor (Kanomax, Model 3443) selama 200 detik. Efisiensi filter didapatkan dari hasil perbandingan antara konsentrasi PM<sub>2,5</sub> sebelum dan sesudah melewati filter. Hasil uji morfologi permukaan menunjukkan bahwa filter partikulat memiliki pori-pori berdiameter 9,11 µm hingga 19,7 µm, dengan densitas yang berbeda-beda. Efisiensi yang dihasilkan sebesar 33% hingga 52%, yang bergantung pada perbandingan komposisi bahan serbuk kayu dan lem kayu. Efisiensi terbesar (52%) diperoleh pada filter varian 3 (Filter 3) yang memiliki densitas terbesar (2,72 x 10<sup>-3</sup> g/cm<sup>3</sup>).

**Kata kunci:** Efisiensi filter; particulate matter 2,5; serbuk kayu; emisi sepeda motor.

## ABSTRACT

The increase of motor vehicle population in Indonesia causes the increase of pollution substances in ambient air, such as *Particulate Matter* with the diameter <2.5 µm or *fine particle* (PM<sub>2.5</sub>). There are many methods developed to reduce the PM<sub>2.5</sub> concentrations emitted by motor vehicles, such as a biomass particulate filter. This study was aimed to develop biomass PM<sub>2.5</sub> filters made of sawdust and wood glue with three different composition ratio: F1, F2, and F3. The PM<sub>2.5</sub> concentrations before and after passing through the filters were measured using a Digital Dust Monitor (Kanomax, Model 3443) for 200 seconds of the sampling times. The filter efficiency was obtained from the reduction ratio of the PM<sub>2.5</sub> concentrations before and after being filtered. Based on the surface morphology test using an electron microscope SEM, the diameters of the filter pores were 9.11 – 19.7 µm with the different densities. The efficiency was 33% to 52%, depending on the ratio of the sawdust and wood glue. A higher filter density (2.72 x 10<sup>-3</sup> g/cm<sup>3</sup>) generated a higher filter efficiency (52%).

**Keywords:** Filter efficiency; particulate matter 2.5; sawdust; motorcycle emission.

## PENDAHULUAN

Populasi kendaraan bermotor di dunia dari tahun ke tahun terus meningkat. Kendaraan bermotor di Indonesia didominasi oleh sepeda

motor yang meningkat sebesar tujuh juta unit sepeda motor pada setiap tahunnya. Sepeda motor menjadi primadona transportasi darat karena harganya yang relatif terjangkau dengan kemudahan mobilitas.

Peningkatan populasi kendaraan bermotor terbukti berbanding lurus dengan peningkatan polutan hasil emisi pembakaran pada kendaraan bermotor yang perlu dikaji lebih dalam. Secara

-----  
\*Corresponding author:  
E-mail: a.wardoyo@ub.ac.id

langsung, peningkatan populasi kendaraan bermotor berbanding lurus dengan penurunan kualitas udara akibat banyaknya emisi polutan yang dihasilkan. Polutan tersebut secara umum berasal dari proses pembakaran yang tidak sempurna, yang mengakibatkan timbulnya senyawa tertentu yang bersifat toksik bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Beberapa polutan dari kendaraan bermotor yakni dari jenis gas, seperti CO (karbon monoksida), SO<sub>x</sub>, dan NO<sub>x</sub> [1]. Polutan tersebut juga dapat berupa PM (*Particulate Matter*) dengan ukuran berbeda-beda, seperti *ultrafine particle* (PM<sub>0,1</sub>), *fine particle* (PM<sub>2,5</sub>), dan *coarse particle* [2,3].

Berbagai usaha telah dan sedang dilakukan untuk mengembangkan teknologi filtrasi polutan yang dihasilkan dari emisi gas buang kendaraan bermotor. Salah satu teknologi yang dikembangkan yakni metode *Catalytic diesel particulate filter*. Filter ini dapat menetralkan gas CO dengan mereduksi dan mengoksidasi gas hasil pembakaran menjadi gas yang tidak begitu berbahaya yaitu karbon dioksida atau CO<sub>2</sub> [4]. Teknologi filtrasi lainnya yakni filter berbasiskan lembaran tipis berbasiskan serabut kelapa [5], filter elektrostatis [6], dan filter berbasis *reheating* [7].

Di sisi lain, meskipun teknologi filtrasi telah banyak dikembangkan, perlu dilakukan sebuah inovasi. Hal ini dilakukan untuk menemukan sebuah kebaruan akan teknologi filtrasi, utamanya untuk sistem filtrasi partikulat berbentuk PM<sub>2,5</sub> yang dapat diaplikasikan secara langsung di sistem pembuangan emisi sepeda motor (knalpot). Selain serabut kelapa, kayu juga memiliki potensi sebagai filter partikulat. Hal ini dikarenakan adanya zat selulosa dan lignin.

Kandungan dari serbuk kayu itu sendiri yaitu selulosa sebesar 47,5%, lignin 29,9%, dan pentosan 14,4 % [8]. Dari kandungan inilah yang membuat serbuk kayu dapat digunakan sebagai bahan biomassa pembuatan filter untuk mengurangi partikel dari emisi keluaran knalpot sepeda motor. Serbuk kayu juga mudah didapat di lingkungan sekitar dan masih dapat dikembangkan dengan campuran bahan dasar maupun komposisinya. Salah satunya yakni pembuatan filter partikulat dari bahan serbuk kayu dengan penambahan lem kayu.

Selama ini limbah serbuk kayu yang belum memiliki manfaat atau potensi, banyak menimbulkan masalah dalam penanganannya yang selama ini dibiarkan membusuk, ditumpuk, dan dibakar. Keseluruhan aktifitas ini berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan

sehingga langkah demi langkah penanggulangannya perlu dipikirkan. Salah satu upaya tersebut yakni dengan memanfaatkannya menjadi barang yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif dan kerakyatan sehingga hasilnya mudah disosialisasikan kepada masyarakat. Sejalan dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi filtrasi emisi PM<sub>2,5</sub> dari sepeda motor dengan memanfaatkan limbah serbuk kayu dan lem kayu, dan menginvestigasi hubungan antara densitas filter dengan tingkat efisiensi yang dihasilkan saat diuji pada sistem pembuangan emisi sepeda motor.

## METODE PENELITIAN

**Sampel Motor.** Penelitian ini dilakukan dengan lima buah sampel sepeda motor yang diperoleh secara *random sampling* di sekitar area pengujian. Semua sampel sepeda motor berada dalam kondisi standar, tanpa modifikasi, berbasiskan bakar yang sama (oktan 92), dengan kubikasi (*engine capacity*) yang berbeda-beda.

**Pembuatan Filter.** Filter dibuat dari serbuk kayu dan lem kayu dengan perbandingan komposisi yang berbeda: varian 1 (Filter 1), varian 2 (Filter 2), dan varian 3 (Filter 3). Lem kayu yang digunakan untuk ketiga variasi filter memiliki massa yang konstan sebesar 1 gram. Adapun massa serbuk kayu (*m*) divariasikan di dalam variasi 1, 2, dan 3. Serbuk kayu diperoleh di pasaran dalam kondisi kering alami (*natural air dried*) dengan kadar air < 15%. Lem kayu diencerkan dengan air (volume 10 ml) agar tidak menggumpal. Serbuk kayu dan lem kayu (yang sudah diencerkan) dicampur dengan air (volume 100 ml) dan diaduk-aduk hingga merata. Masing-masing adonan filter ini kemudian dituangkan ke cetakan filter dengan ukuran konstan 15 cm × 20 cm. Adonan tersebut kemudian ditekan (*pressing*), lalu dikeringkan secara alami. Setelah kering, adonan telah berubah menjadi lembaran filter. Ketiga lembaran filter tersebut kemudian dipotong menjadi bentuk lingkaran dengan diameter 5 cm, dan dihasilkan tiga buah filter partikulat dengan densitas dan ketebalan yang berbeda.

**Pengukuran PM.** Filter partikulat dipasang di knalpot sepeda motor uji dengan bantuan *filter*

frame berdiameter 5 cm. Konsentrasi PM<sub>2,5</sub> sebelum ( $C_i$ ) dan sesudah ( $C_o$ ) melewati filter diukur menggunakan Digital Dust Monitor (Kanomax, Model 3443). Sebagai kontrol, konsentrasi gas CO dan CO<sub>2</sub>, serta temperatur dan kelembaban relatif udara *ambient* di ruang pengukuran diukur menggunakan Q-Trak (TSI, Model 7575). *Probe* alat ukur diletakkan sejauh 40 cm di depan knalpot. Mesin sepeda motor dinyalakan selama satu menit (*cold start*). Selanjutnya, dilakukan pengukuran  $C_o$  dan  $C_i$  selama 200 detik dengan interval waktu setiap 10 detik dengan posisi mesin di *idling condition* (*hot start*, rotasi mesin 1000 RPM). Pengukuran dilakukan untuk seluruh sampel sepeda motor (M1–M5) dan variasi filter (F1-F3), dengan pengulangan sebanyak tiga kali pengukuran dengan kondisi *ambient* yang hampir sama.

**Efisiensi Filter.** Efisiensi tiap-tiap filter ( $E_f$ ) ditentukan dari perbandingan atau rasio konsentrasi PM<sub>2,5</sub> sebelum dan sesudah difilter (1) [9].

$$E_f = \left( \frac{C_i - C_o}{C_i} \right) \times 100\% \quad (1)$$

**Analisis Statistik.** Keseluruhan data diinterpretasikan sebagai *mean* ± standar deviasi

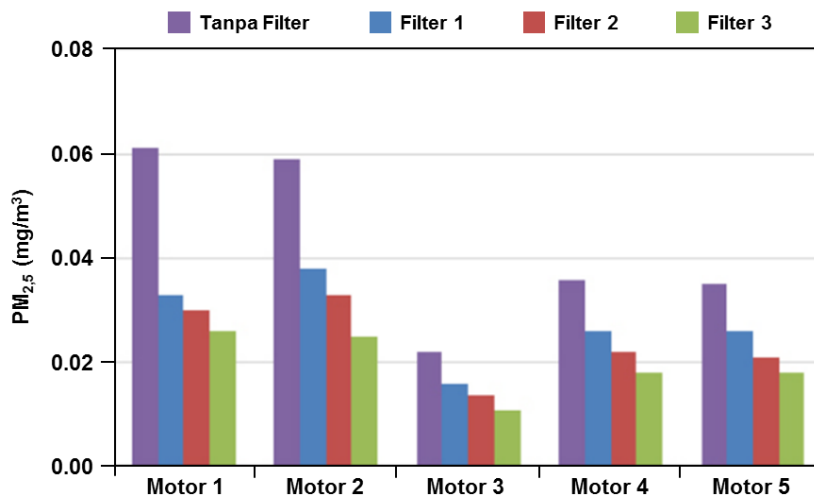
(SD) dari tiga kali pengulangan pengambilan data ( $n=3$ ). Hubungan antara densitas filter dengan efisiensi filter dianalisis dengan teknik uji regresi linear ( $R^2 > 0.85$  menunjukkan hubungan yang kuat secara statistik) [10]. Pengolahan statistik dilakukan dengan program Microsoft Excel 2016.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Densitas filter.** Hasil pengujian densitas filter menunjukkan bahwa F1 (Filter 1) memiliki densitas terkecil sebesar  $2,46 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ . F3 memiliki densitas terbesar, naik sebesar  $0,07 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$  dari F2 dan  $0,26 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$  dari F1 (Tabel 1). Hasil ini menunjukkan bahwa F3 memiliki tingkat kerapatan tertinggi, yang dibuktikan dengan nilai densitas terbesar yang dimiliki. Ketiga filter secara statistik memiliki perbedaan densitas ( $p < 0,05$ ).

**Tabel 1.** Karakteristik fisis filter ( $p < 0,05$ )

No.	Filter	Tebal ( $\times 10^{-2} \text{ cm}$ )	Densitas ( $\times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ )
1.	Filter 1 (F1)	2,5±1	2,46±0,005
2.	Filter 2 (F2)	2,8±1	2,65±0,002
3.	Filter 3 (F3)	3,7±1	2,72±0,001



**Gambar 1.** Perbandingan rata-rata konsentrasi PM<sub>2,5</sub> sebelum dan sesudah difilter.

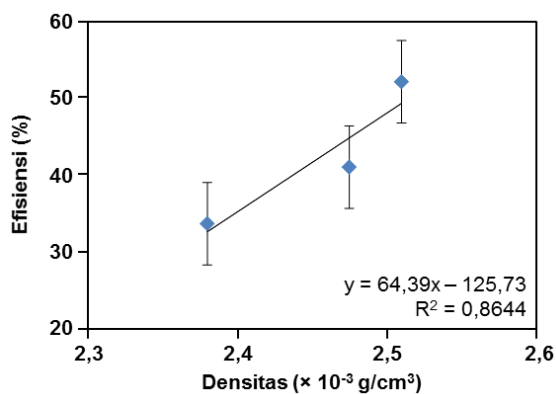
**Konsentrasi PM<sub>2,5</sub>.** Hasil pengujian terhadap ketiga variasi filter, F1, F2, dan F3, menunjukkan bahwa filter dapat mengurangi konsentrasi PM<sub>2,5</sub> yang diemisikan kelima sampel sepeda motor secara konsisten (Gambar 1). Tingkat konsistensi ini dapat ditunjukkan dari

rasio pengurangan konsentrasi emisi PM<sub>2,5</sub> yang konsisten, baik pada F1, F2, maupun F3.

Berdasarkan Gambar 1, motor uji 1, 2, 3, 4, dan 5 memiliki pola grafik yang sama sebelum (tanpa filter) dan pada saat diberi filter F1, F2, dan F3. Konsentrasi partikulat sebelum difilter

memiliki nilai tertinggi, disusul oleh F1, berturut-turut hingga F3. Konsentrasi terendah dihasilkan oleh F3 yang merupakan filter dengan densitas terbesar. Gambar 1 menunjukkan bahwa konsentrasi emisi yang melewati F1 jauh lebih besar dibandingkan pada F3. Penurunan yang terjadi disebabkan oleh perbedaan densitas yang ada. Keseluruhan hasil pengujian menunjukkan pola penurunan yang sama.

**Efisiensi filter.** Kinerja tiap-tiap filter diinterpretasikan dalam efisiensi filter. Efisiensi rata-rata F1, F2, dan F3 beserta standar deviasi ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan adanya hubungan linear yang signifikan antara densitas filter  $\rho$  dengan efisiensi filter. Hal ini ditunjukkan dari nilai koefisien determinasi  $R^2 > 0,85$  [10]. Secara fisis, semakin tinggi massa jenis  $\rho$  maka nilai porositasnya semakin rendah.



**Gambar 2.** Hubungan antara densitas filter dengan efisiensi filter ( $R^2 > 0,85$ ).

Selain itu Gambar 2 juga menunjukkan adanya hubungan linear yang signifikan antara densitas filter  $\rho$  dengan efisiensi filter. Hal ini ditunjukkan dari nilai koefisien determinasi  $R^2 > 0,85$  [10]. Secara fisis, semakin tinggi massa jenis  $\rho$  maka nilai porositasnya semakin rendah. Menurut persamaan (2) dan (3) diketahui bahwa,

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

dan

$$\rho = \frac{\rho_{fluida} \cdot m_{kering}}{W_{kering} - W_{basah}} \quad (3)$$

di mana  $V$  menyatakan volume dari filter dan  $\rho_{fluida}$  menyatakan densitas dari air [11,12]. Adapun massa benda dibagi menjadi  $m_{kering}$  yang

merupakan massa filter setelah kering alami dan  $m_{basah}$  yang merupakan massa filter basah.  $W_{kering}$  merupakan berat filter setelah kering alami.  $W_{basah}$  menyatakan berat dari filter basah. Porositas filter ( $\%P$ ) dinyatakan sebagai berikut,

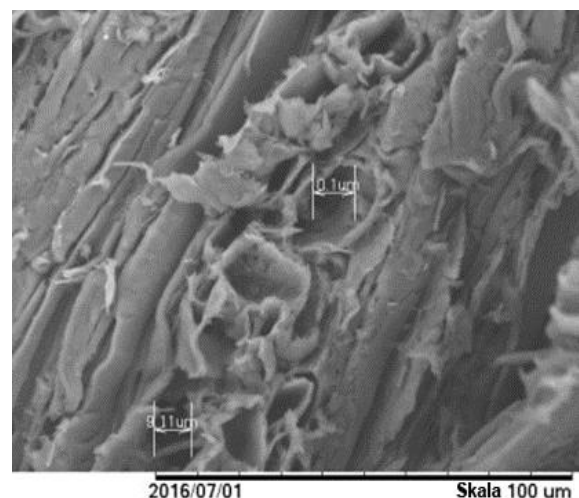
$$\%P = \frac{m_{basah} - m_{kering}}{m_{kering}} \times 100\% \quad (4)$$

Densitas berbanding terbalik dengan porositas filter:

$$\rho \approx \frac{1}{\%P} \quad (5)$$

Semakin rendah porositas menunjukkan filter memiliki tingkat kepadatan yang semakin rapat, karena porositas berbanding terbalik dengan densitas [13]. Akibatnya, PM<sub>2,5</sub> yang melewati filter dengan densitas lebih besar akan lebih banyak terhalangi oleh porositas filter yang lebih rendah, sebagaimana prinsip filter berbasis porositas.

Hasil ini juga ditunjang oleh hasil uji SEM. Berdasarkan uji morfologi pada permukaan dengan metode SEM, diketahui bahwa diameter lubang terkecil dimiliki oleh filter jenis ketiga yang memiliki tingkat densitas terbesar (F3). Diameter lubang terbesar dimiliki oleh filter jenis pertama, yang memiliki ketebalan terendah dengan densitas terendah. Hal ini secara tidak langsung menunjukkan tingkat porositas yang rendah pada filter F1. Semakin besar densitas filter, maka filter tersebut memiliki diameter lubang yang semakin kecil. Dengan kata lain, uji SEM ini dapat membuktikan tingkat porositas filter pada permukaannya (Gambar 3).



**Gambar 3.** Pengamatan permukaan salah satu sampel filter F3 dengan uji SEM (perbesaran 1000 $\times$ ).

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter PM<sub>2,5</sub> untuk emisi sepeda motor yang berbahan dasar serbuk kayu memiliki efisiensi dalam mengurangi PM<sub>2,5</sub> yang tergantung dari densitas filter. Dari beberapa jenis filter yang dikembangkan didapatkan hasil untuk Filter 1 (densitas  $2,46 \times 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup>) dapat menghasilkan efisiensi filtrasi rata-rata sebesar 33%. Filter 2 (densitas  $2,65 \times 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup>) dan Filter 3 (densitas  $2,72 \times 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup>) secara berturut-turut memiliki efisiensi rata-rata sebesar 41% dan 52%. Hubungan antara persentase efisiensi filter dan densitas filter didapatkan linear dengan  $R^2 = 0,86$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kuhns, H.D., Mazzoleni, C., Moosmüller, H., Nikolic, D., Keislar, R.E., Barber, P.W., et al. (2004) Remote sensing of PM, NO, CO and HC emission factors for on-road gasoline and diesel engine vehicles in Las Vegas, NV. *Science of The Total Environment*. 322 (1–3), 123–137.
- [2] Sabaliauskas, K., Evansa, G., dan Jeonga, C.-H. (2012) Source Identification of Traffic-Related Ultrafine Particles Data Mining Contest. *Procedia Computer Science*. 13 99–107.
- [3] Wardoyo, A.Y.P., Juswono, U.P., dan Noor, J.A.E. (2017) A study of the correlation between ultrafine particle emissions in motorcycle smoke and mice erythrocyte damages. *Experimental and toxicologic pathology: official journal of the Gesellschaft für Toxikologische Pathologie*. 69 (8), 649–655.
- [4] Zhou, Q., Zhong, K., Fu, W., Huang, Q., Wang, Z., dan Nie, B. (2015) Nanostructured platinum catalyst coating on diesel particulate filter with a low-cost electroless deposition approach. *Chemical Engineering Journal*. 270 320–326.
- [5] Pawestri, M.A., Wardoyo, A.Y.P., dan Yuana, F. (2014) Sistem filter PM<sub>2,5</sub> berbahan campuran serbuk sabut kelapa dan lem kanji dengan perbandingan 50:50. *Brawijaya Physics Student Journal*. 2 (1), 793–796.
- [6] Budianto, A. dan Wardoyo, A.Y.P. (2016) DC low electrostatic voltage particulate filter: PM<sub>0.1</sub> and PM<sub>2.5</sub> emission efficiency measurement. in: 2016 Int. Semin. Sensors, Instrumentation, Meas. Metrol., hal. 115–118.
- [7] Wardoyo, A.Y.P., Nuriyah, L., Darmawan, H.A., Firdaus, M.I., dan Adi, E.T.P. (2017) Developing reheated filter of motorcycle exhaust for reducing PM<sub>2.5</sub> emissions. in: 2017 Int. Semin. Sensors, Instrumentation, Meas. Metrol., hal. 42–45.
- [8] Lukmandaru, G., Mohammad, A.R., Wargono, P., dan Prasetyo, V.E. (2016) Studi Mutu Kayu Jati di Hutan Rakyat Gunungkidul. V. Sifat Kimia Kayu. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 10 (2), 108.
- [9] Wardoyo, A.Y.P., Juswono, U.P., dan Riyanto, S. (2016) Developing particulate thin filter using coconut fiber for motor vehicle emission. in: AIP Conf. Proc., hal. 030043-1-030043-4.
- [10] Eeftens, M., Phuleria, H.C., Meier, R., Aguilera, I., Corradi, E., Davey, M., et al. (2015) Spatial and temporal variability of ultrafine particles, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>2.5</sub> absorbance, PM<sub>10</sub> and PM<sub>coarse</sub> in Swiss study areas. *Atmospheric Environment*. 111 60–70.
- [11] Fajrina, Y.N. dan Lestari, W. (2016) Karakterisasi Fisis Hubungan Densitas, Resistivitas, Kecepatan (Vp), dan Atenuasi Pada Batuan Vulkanik (Studi Kasus Gunung Arjuno-Welirang, Jawa Timur). *Jurnal Teknik ITS*. 5 (2), B359–B361.
- [12] Sulardjaka, Wibowo, D.B., Arijanto, dan Setiaji, E.F. (2011) Pengaruh temperatur tuang pada proses pengecoran stir casting terhadap densitas dan porositas komposit aluminium diperkuat serbuk besi. *Rotasi Jurnal Teknik Mesin*. 13 (3), 19–21.
- [13] Ridha, M. dan Darminto, D. (2016) Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok dengan Variasi Lokasi dan Kedalaman. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 12 (3).