SISTEM FILTER $PM_{2,5}$ BERBAHAN CAMPURAN SERBUK SABUT KELAPA DAN LEM KANJI DENGAN PERBANDINGAN 50:50

Mia A. P.[1], Arinto Y. P. Wardoyo[2], Firdy Yuana[2]
[1,2)]Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya
Email: [1)] ichimia1227@gmail.com

Abstrak

Emisi hasil pembakaran sepeda motor dapat berupa partikel $PM_{2,5}$ dalam konsentrasi tertentu yang membahayakan kesehatan manusia. Untuk mereduksi konsentrasinya, maka dalam penelitian ini dikembangkan filter *particulate* yang terbuat dari campuran serbuk sabut kelapa dan lem kanji dengan perbandingan 50:50. Sabut kelapa diblender, disaring, dan hasilnya dicampur dengan lem kanji dan air pengencer, lalu adonan ini dipisahkan dalam lima volume berbeda. Tiap adonan dicetak pada *screen* dan dikeringkan, sehingga dihasilkan lima filter dengan ketebalan berbeda. Filter dipotong bulat (diameter 6cm), lalu diuji ketebalan, densitas, dan ketahanannya terhadap keluaran knalpot. Filter diuji efisiensinya menggunakan tiga motor dari merk yang berbeda (150cc produksi tahun 2013 standar pabrik). Konsentrasi *particulate* emisi hasil pembakaran motor uji yang diukur adalah $PM_{2,5,}$ menggunakan Dust Monitor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan oleh filter berkisar antara 16-47% untuk $PM_{2,5}$. Nilai ini menunjukkan bahwa campuran serbuk sabut kelapa dan lem kanji dengan perbandingan 50:50 terbukti dapat digunakan sebagai filter *particulate* ($PM_{2,5}$). Karakteristik fisiknya ditentukan oleh ketebalan filter, densitas filter, dan ketahanan filter (ditinjau dari kemampuan menahan *flowrate* knalpot motor uji). Terdapat hubungan yang sangat kuat antara ketebalan filter dengan efisiensi yang dihasilkan, di mana semakin tebal filter, efisiensinya semakin tinggi.

Kata kunci: Filter *particulate*, serbuk sabut kelapa, lem kanji, $PM_{2,5}$, efisiensi filter, densitas, ketebalan, ketahanan

PENDAHULUAN

Pertumbuhan sektor tansportasi di Indonesia sangat pesat, sehingga aktivitas transportasi khususnya kendaraan bermotor meningkat pula. Aktivitas transportasi ini tidak selamanya membawa dampak positif, namun juga membawa dampak negatif tertentu. Salah satu dampak negatif aktivitas transportasi terhadap lingkungan adalah emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor (polusi udara), seperti gas karbon monoksida, oksida nitrogen, karbon dioksida, dan berbagai senyawa lain.

Aktivitas transportasi khususnya kendaraan bermotor merupakan sumber utama pencemaran udara di daerah perkotaan [2]. Dalam kendaraan bermotor, bahan bakar akan bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan energi untuk memutar mesin serta menghasilkan emisi hasil pembakaran. Salah satu emisi yang dihasilkan dari pembakaran tersebut yang memberikan dampak besar terhadap lingkungan dan kesehatan manusia adalah partikel $PM_{0,1}$ dan $PM_{2,5}$. $PM_{0,1}$ atau *Ultrafine Particle* berukuran kurang dari 0,1 mikrometer ($\leq$ 0,1 µm). Pergerakannya yang acak menyebabkan partikel-partikel ini bertabrakan satu dengan yang lain dan membentuk partikel baru yang lebih besar [5]. $PM_{2,5}$ atau *Fine Particle* berukuran 0,1-2,5 mikrometer (0,1-2,5 µm) [4].

Produsen kendaraan bermotor telah dan sedang melakukan banyak inovasi terkait sistem keluaran knalpot, agar lebih ramah terhadap lingkungan dan kesehatan. Tujuannya adalah untuk mengurangi partikel-partikel polutan yang dikeluarkan sehingga tidak membahayakan para pemilik, pengguna, dan orang-orang di sekitarnya. Beberapa knalpot kendaraan bermotor dilengkapi dengan teknologi terbarukan, seperti berbagai bentuk filter tambahan.

Filter tambahan digunakan untuk menyaring partikel berukuran tertentu sehingga tidak ikut terlepas ke udara, dengan harapan hanya udara bersih yang keluar ke lingkungan sekitar. Filter tambahan dapat dibuat dengan berbagai material yang telah lulus uji emisi tertentu, sehingga sesuai Baku Mutu Udara Emisi. Beberapa bahan yang dapat digunakan sebagai filter tambahan adalah kertas, kapas, busa, stainless steel, biomassa, dan lain sebagianya.

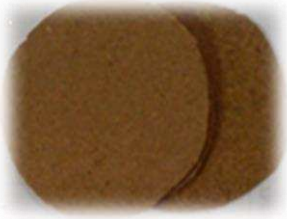
Sabut kelapa memiliki potensi sebagai filter biomassa, sebagai bioabsorben dan bioakumulator logam berat. Hal ini dikarenakan sabut kelapa memiliki persentase material dinding sel sebagai sumber pengikatan logam yang tinggi dan juga biomassa [3]. Sabut kelapa juga memiliki kandungan selulosa yang tinggi yang berbentuk senyawa berserat dan mempunyai tegangan tarik yang tinggi sehingga dimungkinkan dapat digunakan sebagai filter biomassa yang mampu menyerap $PM_{0,1}$ dan $PM_{2,5}$. Di samping itu, sabut kelapa tersedia secara melimpah, murah, dan kurang memiliki nilai ekonomis.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisika Dasar, Lab. Biofisika, dan Lab. Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya, serta di Jalan Bunga Srigading Dalam No. 47, Malang, Jawa Timur, pada bulan Februari sampai Mei 2015. Alat yang digunakan meliputi cetakan sablon (15x20cm), blender, ayakan tepung, gelas ukur, neraca Ohauss, mikrometer sekrup, panci, gunting, dust monitor, P-Trak, anemomaster, termometer termokopel, dan motor uji dengan isi silinder 150cc produksi tahun 2013. Bahan yang digunakan adalah lem kanji, serbuk sabut kelapa kering alami (*air dried*), dan air pengencer (1000 ml).

Sabut kelapa dipotong kecil-kecil lalu diblender dengan kecepatan standar. Hasil blender disaring menggunakan ayakan tepung sehingga dihasilkan serbuk sabut kelapa. Serbuk sabut kelapa yang digunakan sebesar 50gram. Tepung kanji (5gram) dicampur dengan 250gram air, kemudian direbus sambil diaduk-aduk hingga mengental menjadi lem kanji. Lem kanji didinginkan dan ditimbang sebesar 50gram.

Lem kanji dicampur dengan serbuk kelapa dan air pelarut sebanyak 1000ml, sehingga didapatkan adonan filter sabut kelapa. Adonan dituang dalam lima cetakan sablon dengan volume 100; 150; 200; 250; dan 300ml, dipres, kemudian dijemur di ruang terbuka hingga mengering menjadi lembaran filter sabut kelapa dengan lima ketebalan berbeda. Tiap filter dipotong berbentuk lingkaran berdiameter 6cm (gambar 1).

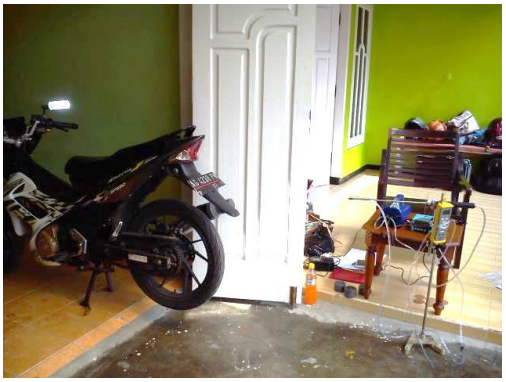


Gambar 1. Filter sabut kelapa

Filter kemudian diuji ketebalan, densitas, dan ketahanannya. Masing-masing filter diambil sampelnya dengan ukuran panjang 1cm x lebar 1cm. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali di permukaan yang berbeda dan selanjutnya diambil nilai ketebalan rata-rata untuk tiap jenis ketebalan filter. Uji densitas dilakukan dengan menghitung perbandingan massa dengan volume filter. Tiap sampel diukur massanya. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali dan selanjutnya diambil nilai massa rata-rata untuk tiap jenis ketebalan filter. Data volume diperoleh melalui. Massa jenis diperoleh melalui perhitungan, sehingga diperoleh massa jenis untuk tiap ketebalan filter.

Uji ketahanan filter dilakukan dengan pengukuran tidak langsung, yakni melalui pengukuran *flowrate* keluaran knalpot motor uji. Anemomaster yang dipasang berjarak 15cm dari mulut knalpot. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali dan diambil nilai *flowrate* rata-rata untuk tiap motor uji.

Adapun rangkaian percobaan yang telah dilakukan sesuai dengan gambar 2. Sebelum data konsentrasi $PM_{2,5}$ diambil, dilakukan pengambilan konsentrasi udara *ambient* menggunakan P-Trak dan Dust Monitor. Data temperatur *ambient* pada termometer termokopel juga dicatat.



Gambar 2. Rangkaian Percobaan

Dust Monitor dan P-Trak ditempatkan dengan jarak kurang lebih 40 cm dari ujung filter. Setelah itu, kendaraan uji dinyalakan, ditunggu beberapa detik, baru kemudian pengoperasian alat dilakukan. Data konsentrasi C_0 (sebelum difilter) dan C_1 (setelah difilter) yang tertera pada layar Dust Monitor dan P-Trak dicatat tiap detiknya hingga terkumpul kurang lebih 30 data pengukuran dalam sekali pengambilan data. Proses pengambilan data dilakukan dengan pengulangan sebanyak tiga kali untuk tiap ketebalan filter. Pengambilan data dilakukan di ruangan semi terbuka untuk meminimalisir angin. Temperatur lingkungan yang terukur antara 28°C-31°C.

Data yang diperoleh lalu dianalisis, sehingga dihasilkan nilai konsentrasi rata-rata masing-masing beserta standar deviasi dan efisiensinya. Data hasil analisis diplot menjadi histogram perbandingan C_0 dan C_1 ketiga motor uji, grafik hubungan ketebalan filter terhadap efisiensi penyerapan, dan grafik massa jenis filter dengan efisiensi penyerapan. Beberapa persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Efisiensi penyerapan oleh filter:

$$Ef = \frac{(C0-C1)}{C0} x100\% \qquad (1)$$

- Densitas filter:

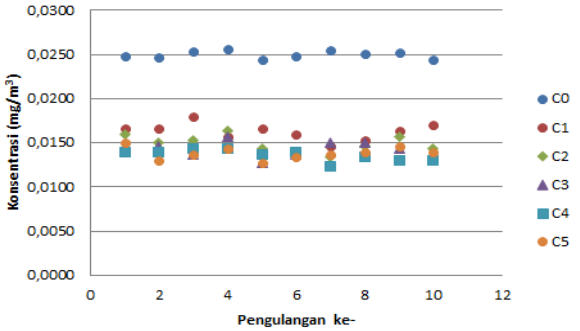
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

- Deviasi densitas filter:

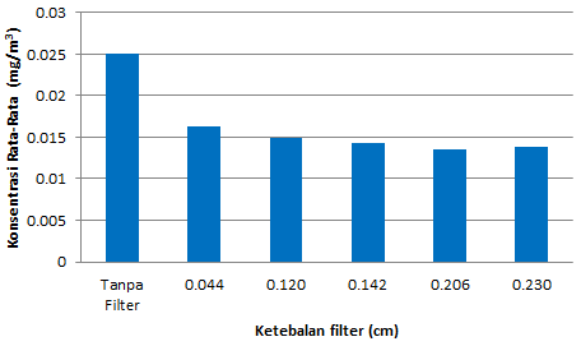
$$\delta\rho = \sqrt{\frac{\sum|\rho-\overline{\rho}|^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data perbandingan konsentrasi $PM_{2,5}$ sebelum dan sesudah dipasangi filter (dengan masing-masing variasi ketebalan) yang berhasil diukur ditunjukkan pada gambar 3. Grafik tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi $PM_{2,5}$ setelah difilter lebih rendah dibandingkan dengan sebelum difilter. Konsentrasi rata-rata *particulate matter* menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan filter. Penurunan konsentrasi rata-rata *particulate matter* ditunjukkan pada gambar 4 (dengan masing-masing variasi ketebalan).



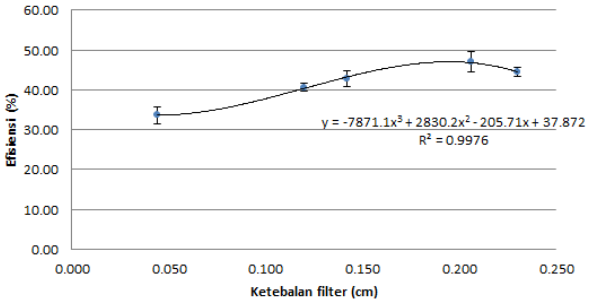
Gambar 3 Perbandingan konsentrasi $PM_{2,5}$ sebelum (C_0) dan sesudah (C_1) dipasangi filter pada motor uji



Gambar 4 Penurunan konsentrasi rata-rata $PM_{2,5}$ pada motor uji

Berdasarkan grafik penurunan di atas dapat dibuktikan bahwa filter mampu mereduksi konsentrasi $PM_{0,1}$ dan $PM_{2,5}$ yang berasal dari pembakaran mesin pada sepeda motor uji. Selisih konsentrasi relatif cukup besar, yang berarti reduksi yang dilakukan cukup signifikan. Perbedaan konsentrasi C_0 mempengaruhi karakteristik penyerapan oleh filter, karena efisiensi penyerapan $PM_{0,1}$ dan $PM_{2,5}$ berkaitan dengan konsentrasi C_0 dan C_1.

Untuk menganalisis besar efisiensi penyerapan $PM_{2,5}$ oleh filter, digunakan analisis grafik yang menunjukkan hubungan antara ketebalan filter dengan efisiensi penyerapannya, ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 Efisiensi penyerapan $PM_{2,5}$ pada motor uji untuk tiap variasi ketebalan

Besar kecilnya efisiensi penyerapan oleh filter untuk $PM_{2,5}$ dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor tersebut diklasifikasikan dalam faktor dimensi filter, karakteristik $PM_{2,5}$, dan faktor *error* lain. Faktor dimensi filter dititikberatkan pada seberapa besar kondisi fisik filter mempengaruhi hasil pengukuran. Faktor karakteristik PM difokuskan pada bagaimana dimensi dan perilaku PM tersebut mampu mempengaruhi hasil pengukuran. Faktor *error* dikhususkan pada analisis kemungkinan munculnya *noise* yang dapat merubah parameter pengukuran secara acak.

Densitas merupakan sebuah ketetapan, karena itu besarnya akan tetap meskipun volume dan massanya berubah. Perubahan massa akan mengikuti rasio tertentu sehingga volumenya akan berubah pula, namun nilai densitasnya akan selalu tetap sama. Atau dengan kata lain, ketika ketebalan filter (d) yang digunakan berubah, maka massa filter (m) pun juga akan berubah, namun tetap sebanding.

Hasil pengukuran densitas yang didapatkan menunjukkan sedikit perbedaan dengan teori yang ada. Densitas hasil perhitungan menunjukkan sebuah kecenderungan, yang mana nilainya akan meningkat seiring dengan berkurangnya ketebalan filter. Perbedaan densitas dengan nilai cukup tinggi membuktikan adanya rasio yang tidak konstan antara massa filter dengan volume filter (berkaitan dengan ketebalan filter). Akibatnya, data efisiensi filter yang didapat dimungkinkan kurang maksimal karena terdapat variabel tertentu yang bersifat tidak konstan. Ini merupakan bentuk *systematic error* terkait kalibrasi instrumen pengukur besaran massa dan panjang filter yang

digunakan. Kesalahan paralaks dalam membaca skala alat ukur dimungkinkan menjadi penyebab yang dapat teridentifikasi. Selain itu, g*ross error* dimungkinkan muncul saat proses pengukuran massa dan diameter filter, seperti adanya angin atau getaran kecil yang menyebabkan skala di alat ukur berubah saat dilakukan pembacaan skala.

Filter juga memiliki ketahanan tertentu ditinjau dari *flowrate* knalpot motor uji. Uji ketahanan ini tidak menganalisis pengaruhnya terhadap nilai efisiensi, namun hanya ditekankan pada ketebalan minimal filter yang dapat diuji nilai efisiensinya. Hal ini mengacu pada adanya filter yang jebol saat diuji di motor uji tertentu, sehingga pada ketebalan tertentu tidak didapatkan nilai efisiensinya. Jebol tidaknya filter ini berhubungan dengan karakteristik fisik filter yang dapat diketahui lewat *flowrate* knalpot. Hasil pengukuran *flowrate* menggunakan alat Anemomaster membuktikan bahwa ketebalan 1 (d=0,044cm) tidak cocok untuk digunakan pada *flowrate* sebesar 2,49$\pm$0,10 ms^{-1} (filter ketebalan 1 terlalu tipis jika diterapkan pada motor dengan *flowrate* lebih dari 2,49 ms^{-1}).

Emisi hasil pembakaran yang berasal dari kendaraan bermotor memiliki kandungan partikel dengan konsentrasi, ukuran, morfologi, dan komposisi kimia yang sangat berbeda-beda. Penelitian yang telah dilakukan menyebutkan bahwa partikel-partikel (diameter di bawah 30nm dan rata-rata ~70nm) yang terdeteksi berasal dari debu-debu oli pelumas [1].

Partikel-partikel yang keluar dari knalpot memiliki konsentrasi, ukuran, dan morfologi yang berbeda-beda. $PM_{0,1}$ memiliki karakteristik yang unik, yakni ukurannya yang kecil dan mudah bertabrakan dengan partikulat lain membentuk partikulat yang lebih besar. Terlebih lagi $PM_{0,1}$ juga bertabrakan dengan partikel penyusun filter, sehingga dimungkinkan terbentuknya partikel baru yang berdiameter lebih besar. Akibatnya, partikulat $PM_{0,1}$ dengan jumlah tertentu dimungkinkan berubah menjadi partikulat yang lebih besar, salah satunya menjadi $PM_{2,5}$.

Faktor *random error* dan *systematic error* lain yang muncul adalah *noise* oleh angin dan instalasi probe P-Trak dan Dust Monitor. Ketidakpastian dalam pengukuran ini tidak mungkin dihilangkan. Yang dapat dilakukan untuk mendekati *true value* yakni dengan mereduksinya. Untuk mereduksinya, dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali, di mana masing-masing pengulangan juga diambil banyak data.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Campuran serbuk sabut kelapa dan lem kanji dengan perbandingan 50:50 terbukti dapat digunakan sebagai filter *particulate* ($PM_{2,5}$).
2. Karakteristik fisik filter adalah semakin tipis ketebalan, maka filter akan cepat rusak jika digunakan terlalu lama.
3. Konsentrasi $PM_{2,5}$ pada motor uji setelah dan sebelum dipasangi filter (dengan masing-masing ketebalan) menunjukkan nilai yang konsisten.
4. Terdapat hubungan yang sangat kuat antara ketebalan filter dengan efisiensi yang dihasilkan, semakin tebal filter maka efisiensinya semakin tinggi. Efisiensi penyerapan $PM_{2,5}$ oleh filter untuk motor uji berkisar antara 16-47% untuk $PM_{2,5}$.

Daftar Pustaka

[1] Karjalainen, Panu; Pirjola, Liis*ä*; Heikkila, Juha; L*ä*hde, Tero; Tzamkiozis, Theodoros; Ntziachristos, Leonidas; Keskinen, Jorma; and R*ö*nkk*ö*, Topi. 2014. "Exhaust Particles of Modern Gasoline Vehicles: A Laboratory and An On-Road Study". *Atmospheric Environment* 97.

[2] Kusminingrum, Nanny dan Gunawan, G. 2008. *Polusi Udara Akibat Aktivitas Kendaraan Bermotor di Jalan Perkotaan Pulau Jawa dan Bali*. https://pu.go.id/uploads/services/infopublik20130926120104.pdf (diakses 27 Juni 2015 19.20).

[3] Pinandari, Anggriyani W.; Fitriana, Dwi N.; Nugraha, Ary; dan Suhartono, Eko. 2011. "Uji Efektifitas dan Efisiensi Filter Biomassa Menggunakan Sabut Kelapa (*Cocos nucifera*) Sebagai Bioremoval Untuk Menurunkan Kadar Logam (Cd, Fe, Cu), Total Padatan Tersuspensi (TTS), dan Meningkatkan pH Pada Limbah Air Asam Tambang Batubara". *Prestasi* 1(1).

[4] Mountain Meteorology Group. 2015. *Frequently Asked Questions About $PM_{2,5}$ Polution In Utah's Salt Lake Valley.* University of Utah. *http://home.chpc.utah.edu/~whiteman/PM2.5/PM2.5.html* (diakses 19 Juni 2015).

[5] Kumar, Prashant; Morawska, Lidia; Birmili, Wolfram; Paasonen, Pauli; Hu, Min; Kumala, Markku; Harisson, M. Roy; Norford, Leslie; and Britter, Rex. 2014. "Ultrafine Particles In Cities". *Environment International* 66:1-10.