

Analisis Pengaruh Rasio KOH sebagai Agen Aktivator terhadap Luas Permukaan dan Aktivitas Katalis Berbasis Limbah Kulit Pisang (*Musa paradisiaca L.*)

Yuni Kurniati*, Anni Rahmat, Sri Sugmah Nur Dewi, Imam Mahmuddin

Received: 3 June 2025
Accepted: 10 September 2025
Published: 11 November 2025

Keywords:

Katalis, Kulit
pisang, Aktivasi
kimia, Esterifikasi, Karbon

ABSTRAK

Kulit pisang merupakan limbah pertanian yang banyak mengandung lignoselulosa dan karbohidrat sehingga berpotensi digunakan sebagai sumber karbon untuk pembuatan katalis padat. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh perbandingan massa karbon-KOH terhadap sifat fisikokimia dan aktivitas katalis asam kulit pisang. Sintesis dilakukan dengan kalsinasi pada suhu 350°C dan aktivasi kimia lebih lanjut dengan KOH dan sulfonasi dengan asam sulfat pekat. Karakterisasi katalis meliputi pengujian BET untuk luas permukaan, SEM untuk morfologi, XRD untuk struktur kristal, dan FTIR untuk identifikasi gugus fungsi. Hasil pengujian menunjukkan perbandingan 1:1 menghasilkan luas permukaan spesifik tertinggi yaitu 60,80 m²/g dengan diameter pori 3,10 nm yang menunjukkan struktur berpori. Pengujian kinerja katalis pada reaksi esterifikasi asam asetat-metanol menunjukkan rendemen metil asetat tertinggi sebesar 96% dengan perbandingan 1:2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa katalis asam padat berbahan dasar kulit pisang berpotensi menjadi alternatif katalis homogen yang ramah lingkungan.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil pisang yang potensial dan produksinya sejak tahun 1978 cenderung meningkat dan pada tahun 1991 produksinya mencapai 2.471.925 ton [1]. Buah pisang yang dihasilkan sebagian besar dikonsumsi dalam bentuk segara atau diolah menjadi sale pisang, tepung pisang, keripik pisang dan lainnya. Sekitar 30% dari buah pisang dihasilkan pula kulit pisang yang merupakan limbah padat. Selama ini baru sebagian kecil dari limbah tersebut yang dimanfaatkan sebagai bahan baku minuman beralkohol / anggur [2] dan menjadi produk – produk yang berguna seperti glukosa, protein sel tunggal, etanol, dan lainnya [3].

Karbon memiliki potensi aplikasi yang lebih luas, diantaranya di bidang elektrokimia, konstruksi dan

sebagainya. Secara spesifik, Karbon dapat diaplikasikan menjadi adsorben, baterai, super kapasitor, dan salah satu pemanfaatan karbon yang sedang berkembang saat ini adalah sebagai katalis [4]. Selama ini, katalis yang umum digunakan memiliki sifat beracun bagi lingkungan sehingga dibutuhkan katalis lain yang bersifat ramah lingkungan [5]. Jika dibandingkan dengan katalis logam, penggunaan karbon di bidang katalis lebih mudah diperoleh dan ramah lingkungan. Pada penelitian terakhir, karbon sebagai katalis mempunyai efisiensi yang tinggi pada berbagai macam reaksi, bahkan bekerja lebih baik dibandingkan katalis logam pada reaksi reduksi-oksidasi [6].

Kulit pisang termasuk limbah pertanian yang mengandung komponen lignoselulosa (holoselulosa dan lignin) dan kandungan karbohidrat yang cukup

tinggi. Kulit pisang ini cukup potensial untuk dijadikan substrat dalam memproduksi katalis.

Katalis memegang peranan penting dalam industri kimia karena hampir semua produk industri dihasilkan melalui proses yang memanfaatkan jasa katalis, baik dalam salah satu atau beberapa proses di dalamnya. Secara umum katalis digolongkan menjadi katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen merupakan katalis yang memiliki fasa yang sama dengan reaktan dan produk reaksinya. Katalis asam merupakan salah satu jenis katalis yang berperan penting dalam proses kimia. Lebih dari 15 juta ton asam sulfat (H_2SO_4) telah dikonsumsi sebagai katalis yang tidak dapat diperbarui, yang membutuhkan biaya tinggi serta pemisahan katalis yang tidak efisien dari campuran reaksi homogenya [7]. Oleh karena itu berbagai penelitian mengenai katalis asam heterogen terus dikembangkan guna mengatasi kelemahan dari katalis asam homogen tersebut.

Katalis asam padat konvensional seperti Amberlyst-15, Nafion-NR50, dan Zirconia Sulfat kebanyakan memiliki stabilitas yang rendah dan harganya yang mahal. Oleh karena itu diperlukan upaya lebih lanjut untuk mengembangkan katalis asam heterogen dengan performa yang tinggi namun dengan harga yang lebih ekonomis. Katalis asam padat berbasis karbon tersulfonasi banyak diminati karena memiliki stabilitas termal yang tinggi [8].

Pada umumnya karbon yang dihasilkan dengan proses fisika – kimia memiliki struktur pori yang baik, namun belum memenuhi kriteria sebagai katalis karena luas permukaan karbon yang rendah, yaitu sebesar $10\text{--}50\text{ m}^2/\text{gram}$. Untuk mendapatkan luas permukaan yang besar pada karbon, dilakukan modifikasi dengan teknik sulfonasi menggunakan H_2SO_4 . Selain dapat memperluas permukaan karbon, teknik ini dapat menghasilkan volume pori yang lebih besar dan stabilitas termal yang lebih baik sehingga karbon dapat dijadikan sebagai katalis. Oleh sebab itu, diusulkan penelitian ini untuk pembuatan karbon menggunakan arang kulit pisang sebagai katalis asam padat.

METODOLOGI

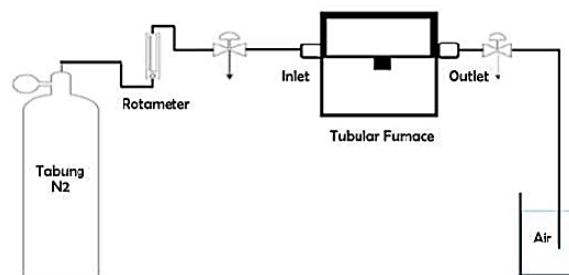
Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi serangkaian reaktor sulfonasi dan tubular furnace yang diperoleh dari CV. Lira Utama, oven merek Kris, ayakan berukuran 75 mesh, combustion boat merek Haldenwagner buatan Jerman yang diperoleh dari UD. Sumber Ilmiah Persada, serta regulator gas nitrogen merek Muramoto.

Bahan-bahan yang digunakan meliputi KOH padat merek SAP, H_2SO_4 pekat 98%, HCl 0,1 N merek SAP, NaOH padat merek SAP, air demineralisasi, asam asetat glasial, metanol 96% merek SAP, dan gas

nitrogen yang diperoleh dari PT. Samator.

Sintesis Karbon Berbasis Kulit Pisang



Gambar 1. Skema Rangkaian Alat Pyrolysis Reactor

Tahapan proses sintesis katalis berbasis kulit pisang dapat dilihat pada gambar 1. Karbon sebagai bahan baku diperoleh dari kulit pisang kering yang dihancurkan dan dihaluskan hingga berukuran mesh 75. Metode yang digunakan untuk sintesis ini yaitu dengan menambahkan KOH padat yang dihancurkan menggunakan mortar dan alu, kemudian dicampur dengan karbon dengan perbandingan KOH dan karbon sesuai variabel dan dikalsinasi di dalam tubular furnace menggunakan pyrolysis reactor

Sulfonasi Sampel

Sulfonasi dilakukan dengan memasukkan sampel karbon kedalam larutan asam sulfat pekat (98%) dengan komposisi 25 mL H_2SO_4 per gram grafit. Untuk setiap 1 gram bahan grafit, digunakan 25 mL H_2SO_4 98% dalam proses sulfonasi. Gas N_2 dialirkan selama 45 menit dengan rate 200 mL/menit. Selanjutnya sampel dipanaskan pada suhu 150°C dengan variabel waktu 10 jam tanpa adanya aliran N_2 sehingga akan terbentuk katalis asam berbasis grafit. Kemudian didinginkan hingga mencapai suhu ruang.

Karakterisasi Luas Permukaan dan Ukuran Pori

Karakteristik fisik grafit meliputi luas permukaan, volume pori, dan diameter pori dapat diketahui melalui analisa adsorpsi-desorpsi isothermis nitrogen pada titik didih nitrogen (77 K) menggunakan alat BET (Surface Area and Pore Size Analyzer Quantachrome type NOVA 1200e). Sebelum pengukuran, sample didegasi dalam nitrogen. Distribusi ukuran pori material dihitung ketika desorpsi menggunakan metode Barret-Joyner-Halenda (BJH). Metode BJH merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk menghitung distribusi ukuran pori pada rentang mesopori.

Karakterisasi Gugus Fungsi

Spektrofotometri FTIR (Transformasi Fourier Infra Red) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam sampel yang dihasilkan. Pada dasarnya spektrofotometer FTIR sama dengan spektrofotometer IR disperse, bedanya adalah

pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar infra merah melewati sampel. Hal ini didasarkan pada atom – atom dalam suatu molekul tidak diam melainkan bervibrasi. Bila radiasi infra merah yang kisaran energinya sesuai dengan frekuensi vibrasi rentangan (stretching) dan vibrasi bengkokan (bending) dari ikatan kovalen dalam kebanyakan molekul dilewatkan dalam suatu cuplikan, maka molekul – molekul akan menyerap energi tersebut dan terjadi transisi diantara tingkat energi vibrasi dasar dan tingkat vibrasi tereksitasi. Namun tidak semua ikatan dalam molekul dapat menyerap energi infra merah meskipun mempunyai frekuensi radiasi sesuai dengan gerakan ikatan. Hanya ikatan yang mempunyai momen dipol dapat menyerap radiasi infra merah.

Uji Performa Katalis

Untuk mengetahui keefektifan katalis, dilakukan analisis menggunakan reaksi esterifikasi. Reaksi esterifikasi asam asetat dengan methanol dipilih untuk menguji performa katalis. Uji ini dilakukan dengan cara mereaksikan 50 mL metanol 96% dan 100 mL asam asetat glacial dalam labu alas bulat yang dilengkapi dengan kondensor refluks dan magnetic stirrer selama 3 jam pada temperatur 60°C. Katalis yang digunakan dalam reaksi sebanyak 0,5 gram. Setelah direaksikan selama 3 jam, metil asetat yang dihasilkan dimurnikan dengan distilasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas Permukaan Katalis

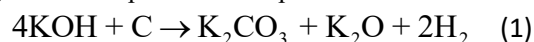
Luas permukaan katalis merupakan salah satu aspek penting dalam pemilihan katalis yang berkualitas. Luas permukaan katalis pada penelitian ini diukur dengan metode BET. Hasil pengujian luas permukaan katalis pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Luas Permukaan Katalis Variabel Temperatur Aktivasi 350°C

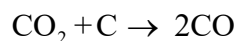
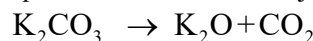
Rasio massa karbon-KOH	Surface Area (m ² /g)	Pore Volume (cm ³ /g)	Pore Size (nm)
1:1	60,8	0,0471	3,1
1:2	55,0	0,0485	3,5

Dari hasil pengujian luas permukaan katalis dapat dilihat bahwa luas permukaan tertinggi diperoleh dari katalis dengan variabel rasio massa (gram) 1:1 yaitu sebesar 60,8 m²/g. Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa massa KOH mempengaruhi luas permukaan katalis yang dihasilkan. Pada penelitian ini didapatkan seluruh katalis hasil aktivasi kimia dengan KOH menghasilkan luas permukaan yang tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa perbandingan *activating agent* dengan karbon berbanding lurus sehingga semakin banyak pula KOH yang mengikis karbon.

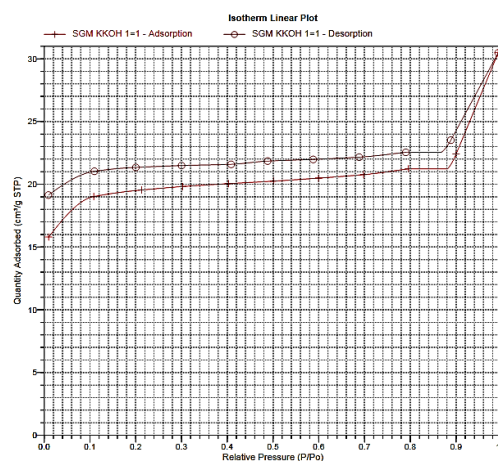
KOH berinteraksi dengan karbon membentuk karbonat dan oksida kalium, dan menghasilkan gas (H₂) yang membantu pembentukan pori.



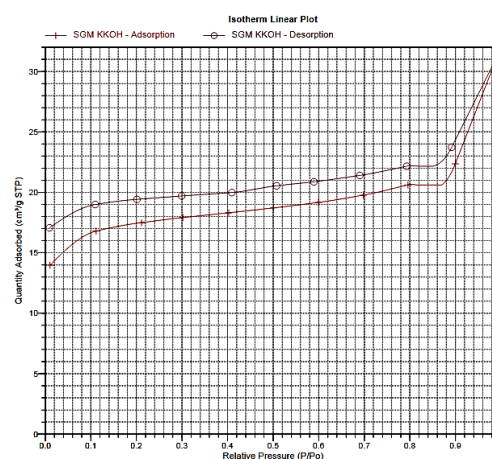
Kemudian K₂CO₃ dan K₂O dapat mengalami dekomposisi dan reaksi lebih lanjut.



Selain itu, logam kalium (K) dapat terbentuk dan menginfiltrasi struktur karbon, “mengembangkan” (*expand*) lapisan karbon sehingga membentuk pori-baru [9]. Tabel 1 menunjukkan diameter pori katalis pada temperatur 350°C. Dapat diamati bahwa pada variabel 1:1 memiliki diameter pori lebih kecil dari perbandingan 1:2 yaitu 3,1 nm. Dari hasil analisa BET telah ditunjukkan bahwa katalis ber-struktur mesopori dimana stuktur mesopori memiliki range 2-50 nm. Hal ini dibuktikan dengan Gambar 2.



(a)

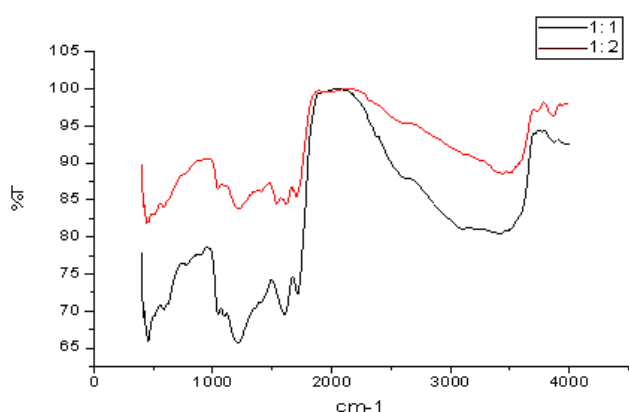


Gambar 2 (a) Isotherm Linear Plot 1:1, (b) Isotherm Linear Plot 1:2

Pada Gambar 2 merupakan grafik isothermis tipe 4. Dari grafik terlihat bahwa pada P/P₀ = 0 gas yang terabsorp sangat sedikit, dan daerah monolayer belum penuh. Dengan meningkatkan tekanan sampai P/P₀ <

0,1, mulai terjadi adsorpsi gas yang memenuhi monolayer. Jumlah gas yang teradsorpsi adalah kecil, tetapi masih lebih besar dibandingkan dengan material non pori. Ketika tekanan dinaikkan lagi sampai P/PO kira – kira 0,2 adsorpsi multilayer mulai terjadi, tetapi jumlah yang teradsorpsi tidak terlalu banyak, sehingga slope grafiknya kecil (kenaikan tidak tajam). Interaksi molekul – molekul gas yang teradsorpsi pada dinding pori yang saling berhadapan mulai terjadi ketika tekanan mencapai P/PO sekitar 0,8. Pengaplikasian tekanan yang lebih tinggi lagi, yaitu sampai P/PO = 0,9 menyebabkan molekul – molekul gas memenuhi mesopori. Kurvanya isotermalnya naik tajam karena jumlah gas yang teradsorpsi sangat besar.

Gugus Fungsi Katalis



Gambar 3. Spektra FTIR Katalis Asam Berbasis Kulit Pisang pada Perbandingan 1:1 dan 1:2 pada Temperatur 350°C

Berdasarkan Gambar 3 spektra FTIR katalis asam berbasis kulit pisang pada perbandingan 1:1 pada temperatur 350°C menunjukkan beberapa pita serapan utama pada bilangan gelombang 500-4000 cm⁻¹. Pita serapan pada bilangan gelombang 3510 cm⁻¹ menunjukkan frekuensi vibrasi dari ikatan O-H. Pada pita serapan 3091 cm⁻¹ merupakan vibrasi regangan dari ikatan C-H dan terdapat pola benzene tersubstitusi pada bilangan gelombang 2000-2600 cm⁻¹. Pada pita serapan 1714 cm⁻¹ menunjukan peak dari ikatan C=O. Adanya C=O merupakan hasil reaksi oksidasi yang terjadi pada lapisan karbon saat dilakukannya proses sulfonasi ^[10].

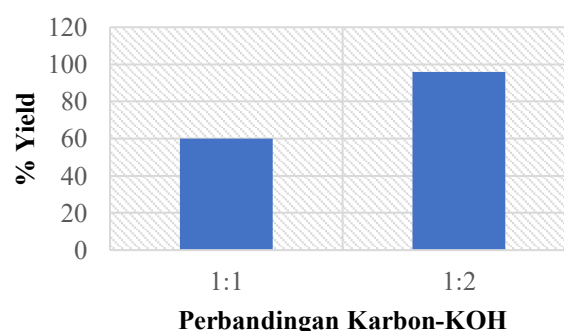
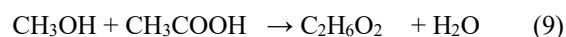
Pada pita serapan 1606 cm⁻¹ merupakan frekuensi dari ikatan C=C. Pita serapan pada bilangan gelombang 1213 cm⁻¹ merupakan frekuensi vibrasi dari ikatan gugus sulfonat (O=S=O) yang tersubstitusi dengan sampel kulit pisang. Adanya pita serapan O=S=O ini secara jelas menyatakan bahwasannya adanya gugus -SO₃H pada hasil sulfonasi karbon yang membentuk ikatan kovalen dengan struktur karbon aromatis ^[11]. Hasil identifikasi FTIR ini sesuai dengan

penelitian yang telah dilaporkan ^[11] bahwa karbon hasil pirolisis yang tidak sempurna akan membentuk struktur material poliaromatis siklik dan akan menyisakan senyawa organik hidrokarbon aromatis polisiklik ^[12]

Uji Performa Katalis

Esterifikasi merupakan reaksi pembuatan ester. Suatu ester dapat dibentuk dengan reaksi langsung antara suatu asam karboksilat dan suatu alkohol. Esterifikasi berkatalis asam merupakan reaksi yang reversibel. Laju esterifikasi bergantung pada faktor sterik dari alkohol dan asam karboksilatnya.

Esterifikasi merupakan reaksi antara alkohol dengan asam karboksilat menggunakan katalis asam. Reaksi esterifikasi dapat dituliskan sebagai berikut :



Gambar 4. Hasil Uji Reaksi Katalis dengan Reaksi Esterifikasi pada Temperatur 350°C

Pada Gambar 4 dapat diamati bahwa terjadi peningkatan % yield metal asetat pada setiap penambahan massa KOH. Hal tersebut membuktikan bahwa pada komposit dengan luas permukaan yang besar, gugus sulfonat terangkak semakin banyak. Sehingga saat dilakukan uji performa katalis, variable massa 1:2 memberikan hasil yang tertinggi yaitu sebesar 96%. Rasio 1:1 menghasilkan karbon dengan surface area yang lebih tinggi dibandingkan 1:2, namun saat reaksi esterifikasi, berlaku sebaliknya, yaitu rasio 1:1 menghasilkan yield yang lebih sedikit. Meskipun rasio 1:1 menghasilkan surface area yang lebih besar, aktivitas esterifikasi lebih dipengaruhi oleh kepadatan dan tipe situs asam di permukaan, aksesibilitas pori untuk reaktan (ukuran pori/distribusi mikro- mesopori), sifat permukaan (*wettability*/hidrofobisitas) dan residu kalium/basic sites yang menghambat katalisis asam. Jadi sampel 1:1 bisa memiliki lebih banyak area mikro (tidak dapat diakses oleh molekul reaktan), atau memiliki lebih sedikit situs asam (atau lebih banyak residu K) yang menurunkan yield esterifikasi.

Sebagai pembanding, dilakukan reaksi esterifikasi dengan menggunakan katalis homogen asam sulfat sebesar 1% massa. Dengan kondisi yang sama, didapatkan hasil yield sebesar 60%. Adanya gugus sulfonat pada pori – pori pada komposit karbon-

KOH yang bersifat hidrofil dapat dengan mudah menarik senyawa asam asetat dan methanol untuk berinteraksi dengan katalis. Hal ini dapat dipengaruhi oleh lebih banyak gugus asam lain (-OH dan -COOH) yang tertempel pada permukaan katalis dibandingkan dengan gugus sulfonat. Asam sulfat merupakan katalis yang sangat cocok digunakan untuk reaksi esterifikasi. Asam sulfat telah banyak digunakan di berbagai industri yang melibatkan reaksi esterifikasi pada proses utama mereka. Dengan adanya gugus sulfonat yang dapat dicangkokkan pada komposit, maka katalis ini berpotensi sebagai pengganti katalis homogen.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah surface area dan volume pori terbesar didapat pada katalis asam pada perbandingan 1:1 dengan surface area 60,8m²/g.

INFORMASI PENULIS

Corresponding Author

Yuni Kurniati – Universitas Internasional Semen Indonesia

Email: yuni.kurniati@uisi.ac.id

Authors

Anni Rahmat – Universitas Internasional Semen Indonesia

Email: anni.rahmat@uisi.ac.id

Imam Mahmuddin – Universitas Internasional Semen Indonesia

Email: imam.mahmuddin15@student.uisi.ac.id

Sri Sugmah Nur Dewi - Universitas Internasional Semen Indonesia

Email: sri.dewi15@student.uisi.ac.id

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) melalui Program Penelitian dosen Pemula (PDP) dan juga didukung oleh Universitas Internasional Semen Indonesia (UISI).

REFERENCES

- [1] BPS, *Statistik Indonesia 1991*, Badan Pusat Statistik, Jakarta, **1991**.
- [2] Munadjim, *Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian*, CV Yasaguna, Jakarta, **1983**.
- [3] M. Mandels, *Biochemistry and Genetics of Cellulose Degradation*, American Chemical Society, Washington, DC, **1982**.
- [4] M. J. Rampe, V. A. Tiwow, H. L. Rampe, *J. Sainsmat* **2013**, *II*, 191.
- [5] K. Y. Li, W., Han, C., Liu, W., Zhang, M. H., & Tao, *Catal. Today* **2007**, *125*, 278.
- [6] L. Yu, D., Nagelli, E., Du, F., & Dai, *J. Phys. Chem. Lett.* **2010**, *1*, 2165.

- [7] H. Xiao, H., Guo, Y., Liang, X., Gong, J., Guo, Y., & Zhang, *Monatshefte für Chemie – Chem. Mon.* **2010**, *141*, 1031.
- [8] X. Ji, J., Zhang, G., Chen, H., Wang, S., Zhang, G., Zhang, F., & Fan, *Chem. Sci.* **2011**, *2*, 484.
- [9] S. Kundu, T. Khandaker, M. A. A. M. Anik, M. K. Hasan, P. K. Dhar, S. K. Dutta, M. A. Latif, M. S. Hossain, *RSC Adv.* **2024**, *14*, 29693.
- [10] A. B. Valle-Vigón, P., Sevilla, M., & Fuertes, *Appl. Surf. Sci.* **2012**, *261*, 574.
- [11] Y. H. Lokman, I. M., Rashid, U., & Taufiq-Yap, *Arab. J. Chem.* **2016**, *9*, 179.
- [12] F. Nakajima, D., Nagame, S., Kuramochi, H., Sugita, K., Kageyama, S., Shiozaki, T., Takemura, T., & Shiraishi, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **2007**, *79*, 221.

KONTRIBUSI PENULIS

Yuni Kurniati : merancang penelitian, menganalisis data, dan menulis naskah. **Anni Rahmat** : melakukan pengujian, validasi peralatan dan menuis naskah. **Imam Mahmuddin**: melakukan penelitian, menganalisis data, dan menulis naskah. **Sri Sugmah Nur Dewi**: melakukan penelitian, menganalisis data, dan menulis naskah.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis tidak memiliki konflik kepentingan.

KETERSEDIAAN DATA

Data hasil penelitian tersedia dan dapat diakses melalui email *corresponding author*.