

## PENGARUH OZONISASI KERING PADA KARBON AKTIF TEMPURUNG KELAPA SAWIT MENGEMLAN PARTIKEL NANO KMnO<sub>4</sub> UNTUK MENGOKSIDASI KONTAMINAN GAS H<sub>2</sub>S DALAM REAKTOR BATCH

Suhirman<sup>1\*</sup>, Imam Prasetyo<sup>2</sup>, Teguh Ariyanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Sekolah Tinggi Teknologi Fatahillah-Cilegon  
Jl. Raya Waringin Kurung, Cilegon, Banten 42161.

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Bulaksumur, Sleman - Yogyakarta 55218.

\*Email: Suhirmanstfcilegon@gmail.com

### Abstrak

*Gas H<sub>2</sub>S merupakan salah satu gas kontaminan yang dapat dihasilkan dari kegiatan industri, ditemukan pada gas alam, produksi biogas, serta kotoran hewan. Permasalahan yang ditimbulkan oleh gas H<sub>2</sub>S akan menyebabkan karatan pada peralatan industri, beracun, berbau, tidak ramah lingkungan dan menurunkan efisiensi pembakaran. Penghilangan gas H<sub>2</sub>S dapat dilakukan dengan oksidasi menggunakan KMnO<sub>4</sub> dalam bentuk nano partikel yang diembankan ke dalam karbon aktif tempurung kelapa sawit (KATKS). KATKS dikenai praperlakuan oksidasi menggunakan ozon kering dengan tujuan meningkatkan luas permukaan dan bersifat hidrofilik agar partikel KMnO<sub>4</sub> terimpregnasi dengan baik sehingga oksidasi gas H<sub>2</sub>S lebih optimal. Pirolisis KATKS dilakukan dalam furnace pada suhu 820°C dengan aktivasi menggunakan steam. Pra-oksidasi yang menggunakan ozon kering dilakukan dengan mengontakkan antara 5 gram KATKS dan ozonisasi kering dengan laju alir 0,05 gram/menit dengan variasi waktu 60 dan 120 menit (KATKS\_OzDry). Tahap selanjutnya mengimpregnasi sebanyak 20% partikel nano KMnO<sub>4</sub> ke dalam KATKS\_OzDry yang dinamai 20%KMnO<sub>4</sub>/KATKS\_OzDry untuk mengoksidasi gas H<sub>2</sub>S berkonsentrasi 110,07 ppm. Perlakuan pra-oksidasi menggunakan ozonisasi kering menambah gugus OH dan C=O, membentuk sifat hidrofilik (sudut <90°) dan mempengaruhi oksidasi gas H<sub>2</sub>S dimana waktu pra-oksidasi 60 dan 120 menit secara berturut-turut menurunkan gas H<sub>2</sub>S sebesar 83% dan 67%.*

**Kata kunci:** H<sub>2</sub>S, KMnO<sub>4</sub>, Tempurung Kelapa Sawit, Confinement, Ozonisasi

### 1. PENDAHULUAN

H<sub>2</sub>S merupakan gas kontaminan yang sering ditemukan pada sumber gas alam dengan kisaran 50 sampai 3.000 ppm (Suhirman, 2020). Gas H<sub>2</sub>S sebagai kontaminan produksi samping gasifikasi biomassa biasanya sekitar 30 ppm (Cosoli, 2018). Berdasarkan penelitian lainnya bahwa gas H<sub>2</sub>S terkandung dalam biogas dibawah 10 ppm (Syaichurrozi, 2017).

Secara umum gas H<sub>2</sub>S dapat dihilangkan dengan *scrubber* namun tergolong mahal (Sanvalero, dkk., 2018). Metode lain yang dapat dilakukan untuk penghilangan gas H<sub>2</sub>S yaitu adsorpsi menggunakan material berpori seperti alumina, zeolit, dan karbon aktif namun cenderung kemampuan penghilangannya masih rendah (Goldnik and Turek, 2013).

Penelitian terbaru menunjukkan daya oksidasi gas kontaminan H<sub>2</sub>S cenderung tinggi menggunakan partikel nano KMnO<sub>4</sub> yang diembankan ke dalam material berpori yang dikenal dengan istilah *nano-confinement* KMnO<sub>4</sub>. Kelebihan metode ini adalah mampu menciptakan partikel KMnO<sub>4</sub> dalam bentuk

nano tanpa teraglomerasi sehingga mampu menghasilkan luas area yang tinggi saat berkontak dengan gas H<sub>2</sub>S (Suhirman, dkk, 2021) dan (Gomez, 2017).

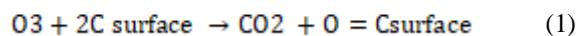
Salah satu partikel berpori yang berpotensi sebagai pengembang adalah karbon aktif tempurung kelapa sawit karena memiliki luas area yang tinggi seperti makropori, mesopori atau mikropori, melimpah, belum termanfaatkan secara optimal dan pemanfaatannya terbatas (Gu dan Karthikeyan, 2015). Berdasarkan penelitian Harti (2018) karbon aktif memiliki luas area 253,6 m<sup>2</sup>/gram dan 491,6 m<sup>2</sup>/gram.

Karbon aktif tempurung kelapa sawit memiliki kecenderungan bersifat hidrofobik atau tidak suka air karena >90% adalah atom karbon. Sehingga material berpori jenis ini memiliki kekurangan ketika dikontakkan dengan air. Wang (2019) meneliti bahwa karbon aktif yang bersifat hidrofobik dengan nilai sudut kontak sebesar 92,67°. Berdasarkan sudut kontak (θc) yaitu hidrofilik memiliki θc <

90°, hidrofobik yaitu  $90^\circ \leq \theta_c \leq 150^\circ$  atau superhidrofobik yaitu  $\theta_c > 150^\circ$  (Gomes, 2013).

Membentuk permukaan karbon aktif agar bersifat hidrofilik dapat dilakukan dengan metode pra-oksidasi dengan  $H_2O_2$ ,  $HNO_3$ , ozon secara basah dan ozon secara kering.  $HNO_3$  mampu membentuk permukaan karbon aktif yang bersifat hidrofilik dengan sudut kontak 66,45°.

Pra-oksidasi mampu meningkatkan gugus fungsi berupa karboksil, lakton, hidroksil, dan laktol pada permukaan karbon aktif tempurung kelapa sawit (Afriye dkk., 2012) serta membentuk ikatan-ikatan hidrogen (Valdes dkk., 2013). Ozonisasi secara basah mampu menyebabkan gugus fungsi seperti keton dan asam karboksilat. Sedangkan pada ozonisasi secara kering mampu membentuk rangkap dua berupa asam karboksilat (Faria dkk., 2017). Berdasarkan persamaan (1) bahwa ozon bereaksi dengan permukaan karbon sehingga terbentuk karbon dioksida dan oksigen, yang pada akhirnya oksigen pada permukaan karbon bertambah.



Konsentrasi yang terlalu pekat atau ozonisasi yang terlalu lama dapat merusak struktur permukaan karbon aktif tempurung kelapa sawit (Utrila at al., 2011). Dapat digarisbawahi bahwa konsentrasi atau waktu ozonisasi yang tepat mampu meningkatkan atom oksigen pada permukaan material berpori karbon aktif tempurung kelapa sawit. Dimana karbon aktif tempurung kelapa sawit yang bersifat hidrofilik akan mengakibatkan partikel  $KMnO_4$  terimpregnasi dengan baik sehingga produk nano- $KMnO_4$  mengoksidasi gas  $H_2S$  lebih optimal.

## 2. METODOLOGI

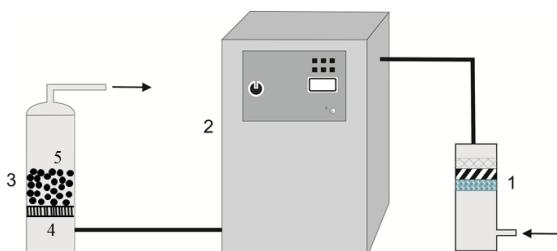
### Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit (KATKS)

*Biocar* (Tempurung kelapa sawit setengah jadi hasil pirolisis) dari Jambi dipirolysis dalam *furnace* pada suhu 820°C dengan dialirkan *steam* pada suhu 600°C selama 24 jam dengan menggunakan nitrogen. Laju alir gas nitrogen diatur sebesar 100 mL/menit. Produk akhir proses ini berukuran 20 sampai 45 mesh yang dinamai KATKS. Pengujian yang dilakukan adalah analisa luas area menggunakan alat

*Surface Area Analyzer* (SAA) NOVA 2000 di Lab Analisa Instrument UGM.

### Pra-oksidasi KATKS Menggunakan Ozon Kering (KATKS\_OzDry)

KATKS dikenai pra-perlakuan oksidasi menggunakan ozon secara kering di dalam alat Ozon Generator model QLA-3G IONTECH. Laju alir udara 16 liter/menit atau 3,36 liter  $O_2$ /jam dihisap menggunakan Qzon generator pada voltase 204 volt. Udara berubah menjadi ozon dengan laju alir 0,05 gram/menit mengalir menuju reaktor. 5 gram KATKS dikontakkan dengan ozon dalam reaktor *fluidized bed* ukuran 100 ml dengan variasi waktu selama 60 menit dan 120 menit. Produk akhir diberi nama KATKS\_OzDry yang dianalisa menggunakan radiasi LASER (Light Amplification by Stimulated Emmission of Radiation). Adapun Rangkaian alat pra-oksidasi menggunakan ozon kering (KATKS\_OzDry) sesuai Gambar 1 dengan keterangan 1) penyaring udara, 2) ozon generator, 3) reaktor berisi karbon, 4) *sintered glass*, 5) partikel karbon.



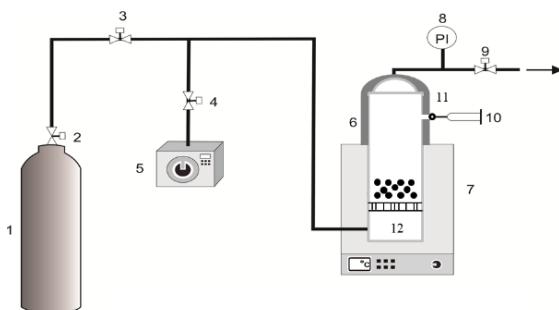
**Gambar 1.** Rangkaian ozonisasi kering

### Impregnasi $KMnO_4$ ke Dalam KATKS (20% $KMnO_4$ /KATKS\_OzDry)

Partikel  $KMnO_4$  dilarutkan dengan aquabides yang memiliki suhu 60°C. Kemudian dikontakkan dengan KATKS yang sudah divakum pada suhu 110°C selama 30 menit dalam labu leher tiga. Selama proses dihomogenkan dengan digoyangkan perlahan-lahan untuk tujuan  $KMnO_4$  membiasahi permukaan KATKS secara merata. Waktu penyerapan selama 5 jam dalam labu leher tiga pada kondisi vakum. Pengeringan KATKS\_OzDry dalam desikator selama 24 jam dilanjutkan dengan menggunakan oven selama 8 jam pada suhu 110°C sebelum dilakukan analisis *SEM-EDX Mapping*.

### Oksidasi Gas $H_2S$ ke Dalam Reaktor *Batch* dengan (20%KMnO<sub>4</sub>/KATKS\_OzDry)

Material 20%KMnO<sub>4</sub>/KATKS\_OzDry yang telah dipreparasi sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam reaktor *batch*. Kemudian dialirkan gas  $H_2S$  berkonsentrasi 110,07 ppm selama 3 jam dengan interval waktu 15 menit pada jam pertama dan 30 menit pada jam berikutnya. Sampel gas  $H_2S$  diambil sebanyak 5 ml menggunakan *syringe*. Lalu menganalisa gas  $H_2S$  dengan alat UV-Vis pada panjang gelombang 670 nm dengan cara memasukkan sampel sebanyak 5 ml ke dalam absorben yang telah ditambahkan P-aminodimetilanilin sebanyak 2 ml,  $FeCl_3$  sebanyak 1 ml serta aquabides untuk volume absorben menjadi 25 ml. Larutan absorben didiamkan di dalam ruang gelap selama 30 menit. Adapun rangkaian alat untuk oksidasi gas  $H_2S$  yaitu ditunjukkan pada Gambar 2.



#### Keterangan:

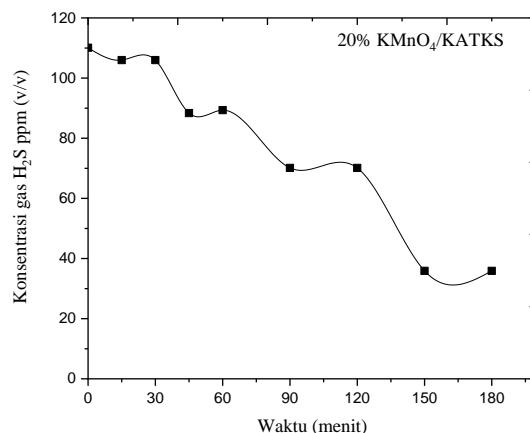
- (1) tabung gas campuran  $H_2S$  dan nitrogen, (2) valve tabung campuran gas  $H_2S$  dan nitrogen
- (3) valve satu, (4) valve dua, (5) pompa vakum,
- (6) reaktor *batch* *nano-confinement* KMnO<sub>4</sub>,
- (7) *waterbath* dilengkapi temperatur indikator,
- (8) *pressure gauge*,
- (9) valve tiga,
- (10) *syringe*,
- (11) septum, dan (12) *sintered glass*.

**Gambar 2.** Oksidasi gas  $H_2S$  menggunakan 20% KMnO<sub>4</sub>/KATKS dalam reaktor *batch*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Uji Oksidasi Gas $H_2S$ dengan Material Pengembang tanpa Pra-Oksidasi

Uji oksidasi yang pertama dilakukan yaitu mengontakkan gas  $H_2S$  dengan material 20%KMnO<sub>4</sub>/KATKS. Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa penurunan gas  $H_2S$  sebesar 67% yaitu dari 110,07 ppm menjadi 35,890 ppm (v/v).



**Gambar 3.** Oksidasi  $H_2S$  menggunakan 20% KMnO<sub>4</sub>/KATKS

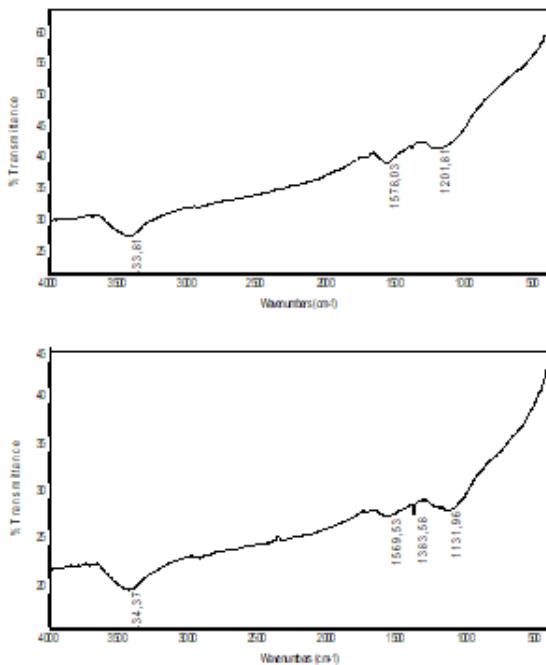
#### Pengaruh Pra-oksidasi Ozonisasi Kering

Penurunan gas  $H_2S$  kurang optimal dikarenakan material karbon aktif tempurung kelapa sawit pada 20%KMnO<sub>4</sub>/KATKS tidak dikenai pra-perlakuan oksidasi dengan ozonisasi kering terlebih dahulu. Material berpori yang tanpa dikenai pra-perlakuan oksidasi memiliki kecenderungan bersifat hidrofobik atau tidak suka air, sehingga untuk membentuk bersifat suka air biasanya dikenai pra-oksidasi menggunakan  $H_2O_2$  atau sumber hidrogen lain (Goldnik and Turuek, 2013).

Menurut Rachmat (2019) pra-perlakuan oksidasi mengindikasikan penambahan gugus fungsi seperti karbonil, karboksil, hidroksil dan lakton pada permukaan karbon aktif tempurung kelapa sawit. Bertambahnya gugus fungsi mengindikasikan meningkatnya atom oksigen pada permukaan karbon aktif tempurung kelapa sawit sehingga memiliki kecenderungan bersifat hidrofilik atau suka air.

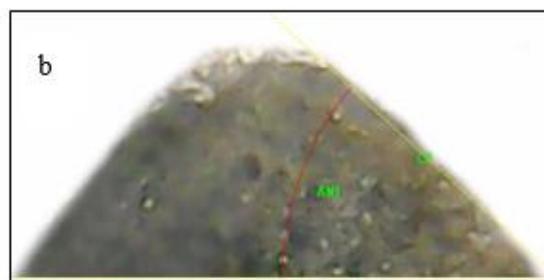
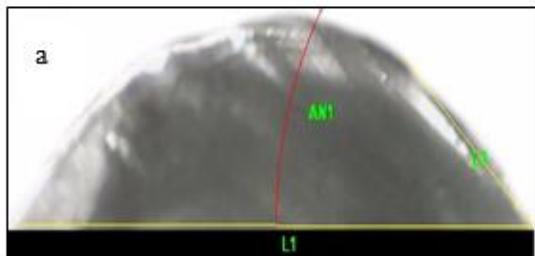
Karakterisasi KATKS dikenai pra-perlakuan oksidasi ozonisasi kering pada dua waktu yang berbeda (a) 60 menit (b) 120 menit pada Gambar 4 menunjukkan adanya penambahan gugus setelah dikenai pra-perlakuan oksidasi dengan ozonisasi kering pada karbon aktif tempurung kelapa sawit, yaitu atom oksigen lebih banyak berdasarkan serapan pita C-H, C-O dan OH mengalami peningkatan. Karbon aktif tempurung kelapa sawit yang dikenai pra-perlakuan oksidasi ozonisasi secara kering selama 60 menit terdapat adanya pita serapan karakteristik pada bilangan gelombang 3.433,81  $cm^{-1}$  yaitu O-H, pada 1.578,03  $cm^{-1}$  yaitu C=C dan pada 1.201,81  $cm^{-1}$  yaitu C-O. Sedangkan karbon aktif tempurung kelapa sawit

yang dikenai pra-perlakuan oksidasi ozonisasi secara kering selama 120 menit menimbulkan adanya pita serapan karakteristik pada bilangan gelombang  $3.434,37\text{ cm}^{-1}$  yaitu O-H,  $1.569,53\text{ cm}^{-1}$  yaitu C=C dan  $1.131,96\text{ cm}^{-1}$  yaitu C-O serta  $1.383,58\text{ cm}^{-1}$  yaitu OH yang menandakan adanya ikatan karboksil.



**Gambar 4.** Karakterisasi KATKS dikenai pra-perlakuan oksidasi ozonisasi kering pada dua waktu yang berbeda (a) 60 menit (b) 120 menit

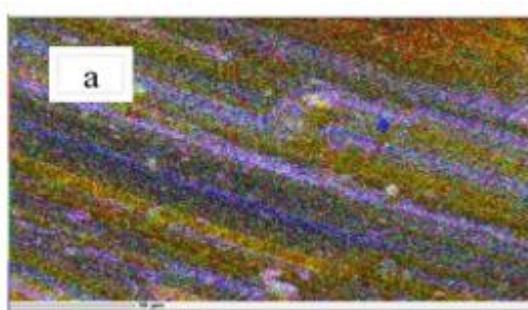
Pada Gambar 5 menunjukkan karbon aktif tempurung kelapa sawit yang dikenai pra-perlakuan oksidasi ozonisasi secara kering pada waktu 60 menit dan 120 menit yang memiliki sudut kontak sebesar  $38,5^\circ$  dan  $42,25^\circ$  yang artinya bersifat hidrofilik sesuai dengan klasifikasi IUPAC yaitu sudut kontak  $\leq 90^\circ$  adalah hidrofilik. Pada Gambar 5 Menunjukkan karbon aktif tempurung kelapa sawit tanpa dikenai pra-perlakuan oksidasi memiliki sudut kontak sebesar  $134,01^\circ$  yaitu bersifat hidrofobik dikarenakan tidak bertambah gugus C-H, C-O dan OH dari proses pra-perlakuan oksidasi ozonisasi secara kering.

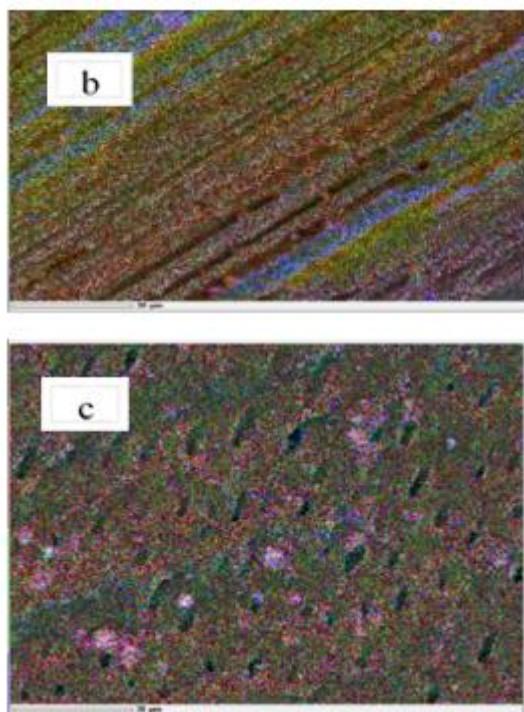


**Gambar 5.** Sudut kontak KATKS\_OzDry  
(a) 60 menit (b) 120 menit

Menurut penelitian Gomez (2013) material yang memiliki sifat hidrofilik berpotensi berhasil sebagai media pengembangan. Hal tersebut dikarenakan pada proses impregnasi pembawa material  $\text{KMnO}_4$  adalah berupa air. Jika material tersebut bersifat hidrofobik, maka air sebagai pembawa  $\text{KMnO}_4$  akan sulit meresap ke dalam permukaan karbon aktif, sehingga proses impregnasi minim dan cenderung teraglomerasi pada permukaan terluar.

Gambar 6 menunjukkan bahwa partikel  $\text{KMnO}_4$  terembang di dalam KATKS. 98% partikel  $\text{KMnO}_4$  masuk ke dalam KATKS berdasarkan hasil penimbangan. Karena KATKS\_OzDry bersifat hidrofilik maka partikel  $\text{KMnO}_4$  terdispersi merata tanpa oksidasi teraglomerasi. Hasil *SEM EDX Mapping* menjabarkan pada permukaan KATKS yang ditunjukkan warna unsur yaitu unsur kalium disimbolkan warna merah, Mangan warna hijau dan oksigen warna biru. Karbon aktif tempurung kelapa sawit tanpa dioksidasi cenderung teraglomerasi. Terlalu lama waktu pra-oksidasi mengakibatkan efektifitas distribusi partikel  $\text{KMnO}_4$  tidak optimal karena terjadi kerusakan ukuran mikroporinya.



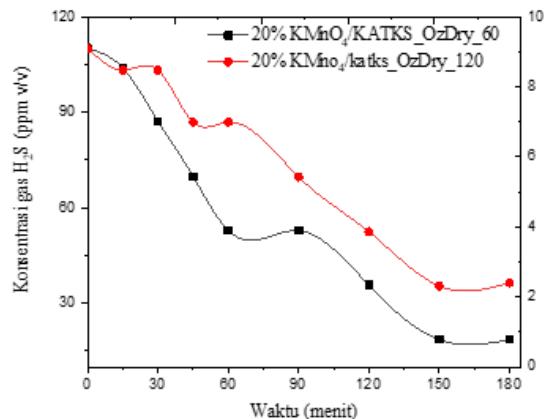


**Gambar 6.** Distribusi 20% KMnO<sub>4</sub> pada KATKS (a) tanpa pra-oksidasi (b) oksidasi ozon kering 60 menit (c) oksidasi ozon kering 120 menit

Uji oksidasi gas H<sub>2</sub>S dilakukan dalam reaktor *batch* menggunakan material *nano-confinement* KMnO<sub>4</sub> sebanyak 4 gram. Material *nano-confinement* KMnO<sub>4</sub> dalam uji oksidasi gas H<sub>2</sub>S ini merupakan bahan kimia berupa 0,8 gram KMnO<sub>4</sub> yang diembankan ke dalam 3,2 gram karbon aktif tempurung kelapa sawit yang telah dikenai pra-oksidasi dengan ozonisasi kering yang menggunakan dua waktu yang berbeda yaitu 60 menit dan 120 menit.

Berdasarkan pada Gambar 7 menunjukkan bahwa pra-oksidasi dengan ozonisasi kering antara 60 menit dan 120 menit memiliki perbedaan terhadap jumlah gas H<sub>2</sub>S yang teroksidasi. Waktu pra-oksidasi ozonisasi kering selama 60 menit mampu mengoksidasi gas H<sub>2</sub>S yang mencapai 83% yaitu dari 110,07 ppm menjadi 18,56 ppm (v/v). Sedangkan pra-oksidasi menggunakan ozonisasi kering selama waktu 120 menit hanya sampai 67% yaitu dari 110,07 ppm menjadi 36,43 ppm (v/v). Perbedaan penurunan gas H<sub>2</sub>S dipengaruhi oleh bentuk morfologi material karbon aktif tempurung kelapa sawit akibat perbedaan dua perlakuan waktu oksidasi yang berbeda. Disamping itu, waktu pra-oksidasi menggunakan ozonisasi kering yang terlalu

lama dapat merusak permukaan karbon aktif tempurung kelapa sawit.



**Gambar 7.** Oksidasi H<sub>2</sub>S menggunakan 20% KMnO<sub>4</sub>/KATKS\_OzDry pada 60 dan 120 menit

## KESIMPULAN

Karbon aktif tempurung kelapa sawit awalnya memiliki sudut kontak sebesar 134,01° (hidrofobik), setelah dikenai pra-perlakuan oksidasi ozon secara kering pada waktu 60 menit dan 120 menit sehingga memiliki sudut kontak sebesar 38,5° dan 42,25° (hidrofilik). Pra-perlakuan oksidasi dengan ozonisasi secara kering mengakibatkan peningkatan daya oksidasi terhadap gas kontaminan H<sub>2</sub>S dengan hasil 20% KMnO<sub>4</sub>/KATKS, 20% KMnO<sub>4</sub>/KATKS\_OzDry 60 dan 120 menit yaitu 67% ; 83% dan 67%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Polimer dan Tim Karbon UGM, kepada LLPM UGM, kepada Kantor K3 Surabaya, dan kepada Teknik Kimia UGM dan Sekolah Tinggi Teknologi Fatahillah-Cilegon.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, T., Kurniasari, M., Laksmana, W., Rochmadi., & Prasetyo, I., (2019). Pore Size Control of Polymer-Derived Carbon Adsorbent and Its Application for Dye Removal, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, pp.4.631–4.636.
- Ariyanto, T., Sarwendah, R., Amimmal, Y., Laksmana, W., & Prasetyo, I., (2019), Modifying Nanoporous Carbon Through Hydrogen Peroxide Oxidation for Removal of Metronidazole Antibiotics

- from Simulated Wastewater, *Processes*, 7, pp.1–9.
- Cosoli, P., Ferrone., Prcl., and M, Fermeglia., (2018), Hydrogen Sulphide Removal From Biogas by Zeolite Adsorption GCMC Molecular Simulations, *Chemical engineering science*, pp.145.
- E.T, Afriye. and P. Norberg., (2013), Textural and Hydrogen Sulfide Adsorption Behaviour of Double Metal-Silica Modified With Potassium Permanganate, *J. Porous Mater*, 20, pp. 447-445.
- Goldnik, E. and T, Turek., (2016), Removal of Hydrogen Sulfide by Permanganate-Based Sorbents: Experimental Investigation and Reactor Modeling, *Chemical engineering science*, 151, pp.51–63.
- Gomes, D. J. C., N. C. De Souza., and J. R. Silva, (2013), Using a Monocular Optical Microscope to Assemble a Wetting Contact Angle Analyser, *Measurement*, 46, pp.3623–3627.
- Gu, C., & Karthikeyan, K. G., (2015), Sorption of the Antimicrobial Ciprofloxacin To Aluminum and Iron Hydrous Oxides, *Environmental Science & Technology*, 39(23), pp.9166–9173.
- Hernando, A., T. Ariyanto, I. Prasetyo., (2019), Preserving Climacteric Fruits By Rippening Hormone Oxidation Using Nano-KMnO<sub>4</sub> Confined Within Nanoporous Carbon, *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 19, pp.54-65.
- Hui S. C., C. L. Lee, A. R. Mohamed., and T. K. Lee., (2013), Hydrogen Sulfide Adsorption By Alkaline Impregnated Coconut Shell Activated Carbon, *Journal of Engineering Science and Technology*, 8, pp.741–753.
- Jin, X., Wu, X., Zhang, Z., Huang, Z., Liu, Y., Fang, M., & Min, X, (2018), Preparation of carbon-coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> porous particles and their adsorption properties of iron (III) ion, *Water Science and Technology: Water Supply*, 18, pp.306–317.
- Khader, E. H., Mohammed, T. J., Mirghaffari, N., Salman, A. D., Juzsakova, T., & Abdullah, T. A., (2021) Removal of organic pollutants from produced water by batch adsorption treatment. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 01, pp.456-789.
- Mohammad Nor, N., C. L. Lee, A. R. Mohamed., and T. K. Lee., (2013), Synthesis Of Activated Carbon From Lignocellulosic Biomass And Its Applications In Air Pollution Control A Review. *J.E ChEng*, 01, pp.658–666.
- San-Valero, P., M. Josep., Penya-roja, F. J. Álvarez-Hornos., G. Buitrón., C. Gabaldón., and G. Quijano., (2018), Fully Aerobic Bioscrubber for The Desulfurization Of H<sub>2</sub>S-Rich Biogas. *Fuel*, 241, pp. 884–891.
- Sitthikhankaew, R., D, Chadwick and S. Assabumrungrat., (2014), Performance of Sodium-Impregnated Activated Carbons Toward Low and High Temperature H<sub>2</sub>S Adsorption, *Chemical Engineering Communications*, 2, pp.257-271.
- Suhirman., T. Ariyanto., and I. Prasetyo., (2021), Preparation Of Potassium Permanganate Confined In Porous Carbon Synthesized From Palm Kernel Shell And Its Application For Hydrogen Sulfide Removal, *Key Engineering Materials*, 884, pp.77-82.
- Suhirman., (2020), Pembuatan Nano-Confinement Kalium Permanganat Tereman dalam Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit untuk Penghilangan Hidrogen Sulfida. Master Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wang, Y., Z. Wang., J. Pan., and Y. Liu., (2018), Removal of Gaseous Hydrogen Sulfide using Fenton Reagent In a Spraying Reactor, *Fuel*, 239, pp.70–75.