

Kemampuan Partikel KMnO_4 Teremban Dalam Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit Terhadap H_2S Dalam Reaktor Biogas Unggun Tetap

Suhirman

Teknik Kimia, Sekolah Tinggi Teknologi Fatahillah, Cilegon, Indonesia)

suhirmansttfcilegon@gmail.com

Article History:

Received 24 Agustus 2023

Revised 13 September 2023

Accepted 03 Oktober 2023

Available online 04 Oktober 2023

Abstrak

Biogas merupakan bahan bakar kaya gas metana yang dihasilkan oleh mikroorganisme an-aerob berbahan organik seperti biomassa. Biomassa yang dapat dimanfaatkan adalah limbah buah-buahan (pasar Gamping Yogyakarta-Indonesia). Permasalahan dalam biogas yaitu gas H_2S yang bersifat toksik, menyebabkan korosi pada alat biogas, menurunkan efisiensi pembakaran dan menyebabkan hujan asam. Tujuan penelitian adalah penghilangan gas H_2S didalam reaktor biogas unggun tetap menggunakan 20% KMnO_4 yang diimbangkan ke dalam karbon aktif tempurung kelapa sawit dikenai pra-perlakuan oksidasi menggunakan H_2O_2 (20% 2KMnO_4 -KATKS- H_2O_2). Biogas berbahan limbah buah-buahan dari pasar Gamping dialirkan ke dalam reaktor unggun tetap berisi partikel 20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 untuk dioksidasi gas H_2S . Variasi pertama H_2S bercampur nitrogen pada 3 suhu yaitu 30°C , 40°C dan 50°C . Variasi kedua yaitu massa KMnO_4 divariasikan 4 gram, 4,5 gram dan 5 gram. Hasil penelitian gas H_2S di dalam reaktor unggun tetap dengan temperatur tidak dikontrol; 30°C ; 40°C ; 50°C konsentrasinya menurun secara berturut turut 98,48%; 98,7%; 98,45% dan 98,36%. Gas H_2S yang konsentrasinya 20 ppm dalam reaktor biogas unggun tetap mengalami penurunan dengan variasi 4 gr, 4,5 gr dan 5 gr secara berturut-turut yaitu 70%; 85%; 90%.

Kata Kunci : Biogas; H_2S ; KMnO_4 ; KATKS; Unggun tetap

Abstract

Biogas consists mainly of methane from activities of an-aerobic microorganisms. Biogas made from organic matter such as biomass (fruit waste) such as those in Gamping market in Yogyakarta-Indonesia. Problems in biogas is the content of H_2S gas which in certain quantities is toxic, causing corrosion of the biogas apparatus and reducing combustion efficiency. The aim of the study was to remove H_2S gas in a fixed bed biogas reactor using 20% KMnO_4 impregnation on activated carbon of palm kernel shells was pre-oxidation treatment using H_2O_2 (20% 2KMnO_4 -KATKS- H_2O_2). Biogas flowed into fixed bed reactor was containing 20% 2KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 particles to oxidize H_2S gas. The first variation is at 3 temperatures used 30, 40 and 50°C . The second variation is the mass of KMnO_4 are 4gr, 4.5 gr and 5 gr. Research results of H_2S gas in a fixed bed reactor with uncontrolled; 30°C ; 40°C ; 50°C the concentration decreased successively 98.48%; 98.7%; 98.45% and 98.36%. H_2S gas with a concentration of 20 ppm in a fixed bed biogas reactor decreased with variations of 4 grams, 4.5 grams and 5 grams respectively, namely 70%; 85%; 90%.

Keywords : Biogas, H_2S , KMnO_4 , KATKS, Fixed be

1. Pendahuluan

Energi merupakan salah satu kebutuhan dunia, bahkan di Indonesia menjadi perhatian pemerintah dalam pengembangannya. Energi fosil yang tidak dapat diperbaharui beralih pada pengembangan energi baru-terbarukan seperti energi yang disediakan alam yaitu energi bayu, panas bumi, ombak, sinar matahari dan air terjun. Salah satu energi yang bersumber dari biomassa dan organik menjadi kajian menarik untuk diubah menjadi biodiesel, bioetanol, briket, serta biogas. Salah satu pengembangan energi baru terbarukan yang terus dikembangkan karena potensinya adalah biogas (Ariyanto et al., 2019)

Biogas merupakan salah satu energi yang bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia dengan pertimbangan bahan baku yang melimpah dan bervariasi serta dapat diperbaharui (Watanabe & Sholl, 2020). Salah satu sumber bahan baku biogas di Indonesia adalah biomassa, limbah organik, limbah pertanian, limbah pasar, gulma, limbah cair industri (seperti molase pabrik gula), dan limbah kotoran hewan (Deng et al., 2018).

Menurut kementerian lingkungan hidup bahwa sumber limbah tidak terkelola hingga 40,61% dimana 17,2% adalah sampah pasar tradisional. Penelitian yang dilakukan oleh dinas pertanian dan ketahanan pangan Yogyakarta pada tahun 2020 bahwa limbah organik dari pasar tradisional secara umum mengandung karbon (C) sebesar 38,23%, nitrogen (N) sebesar 2,25%, fosfor sebesar 1,15%, kalium (K) sebesar 2,43% dan kadar air (H_2O) sebesar 53,85%. Berdasarkan ketersediaan limbah organik pasar tradisional dan kandungannya maka sangat berpotensi diolah menjadi biogas karena mengandung komponen karbon dan nitrogen

Salah satu plant biogas yang telah dikembangkan berbahan biomassa limbah buah adalah dari pasar Tradisional Gemah Ripah di Yogyakarta oleh Universitas Gadjah Mada. Hasil dari plant biogas tersebut adalah listrik sebanyak 550 kWh/hari. Dalam satu hari mengolah limbah buah sebanyak 4 ton. Salah satu permasalahannya adalah masih mengandung gas hidrogen sulfida yang belum di-*treatment*

dari pengolahan sampah pasar tradisional pada umumnya mengandung metana (CH_4) 54-70%, karbon dioksida (CO_2) 27-45%, nitrogen 3-5%, hidrogen 1%, karbon monoksida 0,1%, oksigen 0,1% dan hidrogen sulfida 0,1%. Dalam kandungan Biogas terdapat gas hidrogen sulfida yang relatif sedikit namun perlu dihilangkan karena bersifat racun bagi manusia dalam konsentrasi rendah ataupun tinggi, menyebabkan karat pada peralatan biogas, mengurangi efisiensi pembakaran, dan merusak lingkungan jika dilepas ke udara yaitu hujan asam serta berbau (Cao et al., 2019)

Teknologi penghilangan gas H_2S dari biogas pernah dilakukan menggunakan aerob bioabsorber, permasalahannya relatif mahal dalam perawatannya serta kurang optimal (San-Valero et al., 2019). Metode penghilangan gas hidrogen sulfida dapat dilakukan dengan menggunakan adsorpsi logam, permasalahannya adalah logam tersebut menjadi karat sehingga kurang efektif (Wang et al., 2019). Penghilangan gas H_2S dilakukan dengan menggunakan karbon aktif namun masih kurang optimal (Hernando et al., 2019) dan penghilangan menggunakan $KMnO_4$ dalam fase cair masih menghasilkan limbah sekunder.

Potensi penghilangan hidrogen sulfida yang terbaru menggunakan $KMnO_4$ dalam fase padat karena mampu mengoksidasi dengan efektif. Hal tersebut dikarenakan $KMnO_4$ bersifat sebagai oksidator kuat. Pengoptimalannya adalah dengan mengubahnya ke dalam bentuk nano partikel karena dalam bentuk makro cenderung memiliki luas area yang rendah sehingga efektifitas oksidasi gas hidrogen sulfida kurang optimal. Tidak dapat dilakukan dengan cara hanya ditumbuk secara fisik karena akan teraglomerasi kembali, maka selanjutnya perlu dilakukan dengan cara diembankan ke dalam partikel berpori (nano porous material) seperti zeolite, karbon aktif, tanah liat, dan alumina melalui proses impregnasi (Suhirman et al., 2021).

Dengan cara mengimpregnasikan partikel nano $KMnO_4$ ke dalam poros material karbon aktif tempurung kelapa sawit yang dikenal (*Nano-confinement* $KMnO_4$) maka potensi penghilangan hidrogen sulfida lebih tinggi karena luas areanya yang tinggi. Secara pencemaran lingkungan metode ini tidak menghasilkan limbah dari prosesnya karena dapat dijadikan pupuk. Dimana sulfur di dalam tanah bisa dimanfaatkan tanaman. Penelitian tersebut fokus menggunakan jenis reaktor batch berisi gas H_2S dengan nitrogen yang menghasilkan oksidasi kurang dari 60% serta tidak sampai menghitung konstanta laju reaksi pada berbagai temperatur.

Perlakuan yang dapat dilakukan agar karbon aktif tempurung kelapa sawit sebagai objek yang dikenai partikel nano $KMnO_4$ dapat diimpregnasi dengan baik maka dilakukan dengan cara oksidasi menggunakan H_2O_2 . Menurut penelitian Gomez pada 2013 bahwa karbon aktif memiliki gugus $C=C$

yang mengakibatkan karbon aktif bersifat hidrofobik, H_2O_2 yang dikenai dapat merusak ikatan tersebut yang membentuknya menjadi suka air (Hidrofilik) karena adanya penambahan gugus oksigen (De Crisci et al., 2019).

Penelitian ini memiliki tujuan pertama untuk membuat *nano-confinement* $KMnO_4$ dengan cara mengimpregnasikan partikel nano $KMnO_4$ ke dalam material berpori karbon aktif tempurung kelapa sawit yang telah dikenai perlakuan oksidasi menggunakan H_2O_2 (Zheng et al., 2019). Tujuan kedua yaitu mengetahui penurunan kandungan gas H_2S pada biogas berbahan limbah buah pasar Gemah Ripah Yogyakarta menggunakan reaktor unggun tetap.

Teknologi *nano-confinement* $KMnO_4$ yang dalam penelitian ini dinamai 20% $KMnO_4$ -KATKS- H_2O_2 yang diuji secara langsung secara kontinyu pada reaktor biogas unggun tetap untuk mengurangi hidrogen sulfida (Zheng et al., 2018). Sehingga biogas yang dihasilkan dapat terbebas dari senyawa yang bersifat korosif.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya bahwa kecenderungan penghilangan gas H_2S dilakukan pada campuran sampel gas H_2S dengan nitrogen atau belum ada yang melakukan secara kontinyu dalam reaktor unggun tetap. Penelitian terbaru oleh Suhirman dan kawan-kawan pada tahun 2020 menggunakan material berpori limbah tempurung kelapa sawit, kelemahannya baru sampai menggunakan reaktor batch dengan sampel gas H_2S namun belum melakukan sampai pada uji coba secara langsung dalam reaktor biogas unggun tetap yang beroperasi secara kontinyu untuk diuji kemampuan oksidasinya.

2. Bahan dan Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada lokasi Laboratorium Polimer Universitas Gadjah Mada, Laboratorium Plant Biogas, pasar Gemah Ripah Yogyakarta dan LPPM Universitas Gadjah Mada, serta Laboratorium Operasi Teknik Kimia Sekolah Tinggi Teknologi Fatahillah Cilegon.

2.2 Variasi Penelitian

Dalam penelitian Suhirman dan kawan-kawan pada tahun 2020 telah memvariasikan oksidasi material pengemban karbon aktif tempurung kelapa sawit (KATKS) menggunakan H_2O_2 , ozon basah, dan ozon kering. Memvariasikan massa partikel $KMnO_4$ yang diembankan pada KATKS yaitu 5%, 10%, dan 20%. Penelitian tersebut dilakukan hanya sampai kondisi batch dan gas H_2S yang dioksidasi dalam campuran dengan nitrogen. Dalam penelitian ini melanjutkan dari hasil variasi terbaik untuk diaplikasikan pada sumber gas H_2S dan jenis reaktor berbeda serta kondisi yang berbeda. Penelitian ini memiliki kebaruan dengan menggunakan bahan yang dioksidasi gas H_2S pada biogas, menggunakan proses oksidasi secara kontinyu, dan dalam reaktor unggun tetap.

2.3 Bahan

Biogas berbahan limbah buah-buahan berasal dari pasar Gemah Ripah Yogyakarta dengan konsentrasi 20 ppm gas H_2S , karbon aktif tempurung kelapa sawit berasal dari bahan Jambi-Indonesia, $KMnO_4$ yang memiliki kemurnian 99% katalog: 1.05082.0250 merk KgaA yang diperoleh dari Darmstadt-Jerman, dan H_2O_2 50% dari PT. Peroksida Indonesia Pratama

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit (KATKS)

Persiapan bahan tempurung kelapa sawit 5-16 mesh yang pirolisis menjadi karbon aktif tempurung kelapa sawit (KATKS) berukuran 20-45 mesh menggunakan furnace, suhu $820^\circ C$, aliran nitrogen 100 mL/menit dengan aktivasi menggunakan steam $600^\circ C$ sampai $820^\circ C$ (Suhirman, 2020).

2.4.2 Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit dikenai H_2O_2 (KATKS- H_2O_2)

Pembuatan karbon aktif tempurung kelapa sawit yang dikenai pra-treatment dengan H_2O_2 (KATKS- H_2O_2) dilakukan dengan cara KATKS berukuran 20-45 mesh dicampurkan dengan H_2O_2 konsentrasi 15% perbandingan 1:10 pada suhu $70^\circ C$ selama 2 jam dan pengadukan pada 60 putaran setiap menit (Suhirman, 2020).

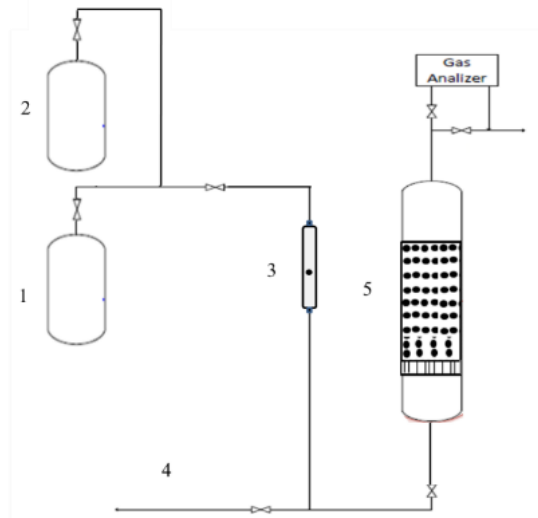
2.4.3 Pembuatan *Nano-confinement* KMnO_4

Pembuatan partikel *nano-confinement* KMnO_4 dilakukan dengan cara (KATKS- H_2O_2) setelah divakum pada suhu 110°C selama 30 menit dalam buret diteteskan secara perlahan-lahan padatan KMnO_4 yang dilarutkan di dalam aquabides pada suhu 60°C . Labu leher digoyangkan agar larutan KMnO_4 membasahi permukaan karbon aktif tempurung kelapa sawit secara merata. Karbon aktif tempurung kelapa sawit didiamkan selama 5 jam dalam buret pada kondisi vakum (Suhirman, 2020).

2.4.4 Oksidasi Gas H_2S dalam Reaktor Biogas dengan *Nano-confinement* KMnO_4

Oksidasi Biogas dilakukan dengan cara *nano-confinement* KMnO_4 sebanyak 4 gram dimasukkan ke dalam reaktor unggun tetap. Biogas dialirkan dari reservoir tank ke dalam reaktor. Mengatur flow meter biogas menuju ke dalam reaktor unggun tetap. Membaca gas keluaran dari reaktor unggun tetap menggunakan gas analyzer yang bisa merekam data gas H_2S , CO_2 dan metana. Pembacaan terus dilakukan sampai akhirnya konsentrasi gas H_2S kembali stabil seperti semula pada saat sebelum dimasukkan *nano-confinement* KMnO_4 . Melakukan percobaan dengan variasi suhu 30°C , 40°C , 50°C dalam reaktor unggun tetap aliran tangki 1. Terakhir variasi massa *nano-confinement* KMnO_4 yaitu 4 gram, 4,5 gram, 5 gram dalam reaktor unggun tetap aliran tangki 2.

2.5 Rangkaian Alat



Gambar 1. Rangkaian alat oksidasi gas H_2S di dalam reaktor unggun tetap

Keterangan: 1) Tabung gas H_2S ; 2) Tabung Biogas; 3) Flow meter gas; 4) Gas buangan ke lingkungan; 5) Reaktor unggun tetap berisi 20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 ; 6) Gas buangan ke lingkungan

3. Hasil dan Pembahasan

Biogas merupakan sumber energi terbaru yang berpotensi menggantikan energi fosil. Secara umum kandungan gas H_2S sebagai gas kontaminan dalam biogas belum pernah dihilangkan menggunakan bahan sumber *nano-confinement* KMnO_4 . Penghilangan gas H_2S dalam biogas dilakukan dengan cara adsorpsi menggunakan material karbon tempurung kelapa namun cenderung kurang optimal dan menggunakan cairan KMnO_4 cenderung menghasilkan limbah cair sehingga tidak ramah lingkungan (Ariyanto, Kurniasari, et al., 2019).

Penelitian yang dilakukan oleh Suhirman dan kawan-kawan pada tahun 2020 bahwa gas H_2S dapat dikurangi dengan cara oksidasi menggunakan *nano-confinement* KMnO_4 (partikel KMnO_4 di impregnasikan ke dalam karbon aktif tempurung kelapa sawit yang dikenai pra-perlakuan oksidasi dengan cairan H_2O_2). Penelitian tersebut dilakukan dalam reaktor batch dengan cara memvariasikan massa KMnO_4 yang diembankan 5, 10 dan 20% selama 120 menit yang mampu menurunkan gas H_2S

secara berturut-turut 53,74%; 66,77% dan 98,07%. Sehingga yang terbaik adalah *nano-confinement* yang mengemban 25% KMnO_4 atau 20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120

Dalam variasi penelitian lainnya Suhirman dan kawan-kawan pada tahun 2020 mengatur kondisi temperatur dalam suhu 30°C , 40°C , dan 50°C untuk menentukan kinetika reaksi. Adapun dari hasil penelitian tersebut koefisien tumbukan $0,064 \text{ (s}^{-1}\text{)}$, koefisien energi aktivasi (ER/R) $270,67^\circ\text{K}$ serta nilai yaitu:

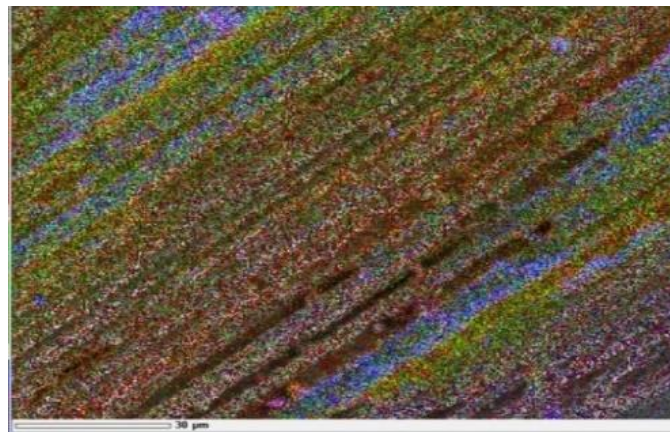
$$k = 0,064(\text{s}^{-1}) \exp \frac{(-270,67^\circ\text{K})}{T} \quad (3.1)$$

3.1 *Nano-Confinement* KMnO_4 Terbaik (20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120)

Berdasarkan penelitian Suhirman dan kawan-kawan tahun 2020 menunjukkan data bahwa *nano-confinement* KMnO_4 terbaik dihasilkan dengan mengembankan 20% berat/berat partikel nano KMnO_4 pada permukaan material karbon aktif tempurung kelapa sawit yang sebelumnya telah dikenai pra-perlakuan oksidasi dengan menggunakan H_2O_2 selama 120 menit yang dinamai 20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120.

Penentuan pra-perlakuan oksidasi tidak hanya dilakukan dengan menggunakan H_2O_2 melainkan memvariasikan dengan metode ozon basah dan ozon kering. Metode menggunakan ozon basah dan ozon kering dari variasi masing-masing terbaik masih lebih rendah dalam mengoksidasi gas hidrogen sulfida jika dibandingkan menggunakan H_2O_2 yaitu hanya mampu menurunkan hidrogen sulfida sebesar 98,44% dan 83,44% (Suhirman et al., 2021). Dibandingkan dengan penelitian Paria 2017 menunjukkan bahwa *treatment* dengan ozon memiliki dampak terhadap kerusakan struktur partikel dengan waktu oksidasi terlalu lama yang mengakibatkan daya oksidasi gas H_2S menurun.

Adapun secara visual, karakter, dan pembuktian bahwa 20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120 memiliki potensi dalam mengoksidasi gas H_2S dapat ditampilkan pada Gambar 2. yang menjelaskan bahwa partikel KMnO_4 sebesar 20% memang tinggal di dalam karbon aktif tempurung kelapa sawit berdasarkan visual SEM Mapping EDX. Disamping itu massa KMnO_4 yang diimpregnasikan ke dalam karbon aktif tempurung kelapa sawit 98% teremban sedangkan 2% hilang yang ada kecenderungan tertinggal diluar permukaan karbon.

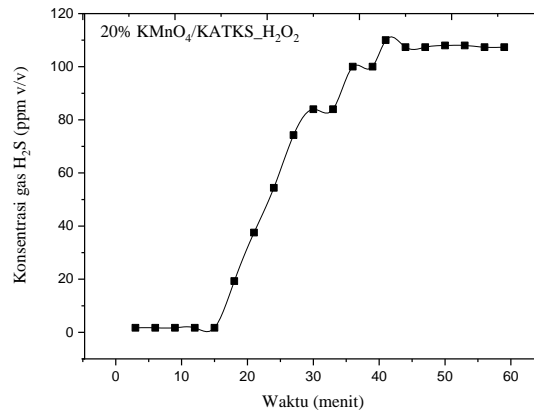


Gambar 2. Distribusi KMnO_4 pada permukaan karbon aktif tempurung kelapa sawit pra-perlakuan oksidasi dengan H_2O_2 konsentrasi massa (Keterangan unsur K;Mn;O disimbolkan warna merah; hijau ;biru)

3.2 Oksidasi H_2S dalam Reaktor Unggun Tetap Menggunakan *Nano-Confinement* KMnO_4 pada Suhu Tidak Dikontrol

Setelah memperoleh metode terbaik yaitu material 20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120 yang telah diaplikasikan dalam reaktor *batch* selanjutnya dilakukan dalam reaktor unggun tetap. Dalam reaktor unggun tetap dimasukkan sebanyak 4 gram partikel *nano-confinement* (20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120) dengan aliran gas H_2S berkonsentrasi 110,7 ppm v/v sebesar 8,566 ml/menit atau 1 mg gas H_2S /menit mengalir secara kontinyu. Sesuai penelitian yang telah dilakukan oleh Goldnik and Turek pada tahun 2016 bahwa 15-20% KMnO_4 masih mampu diembankan ke dalam material berpori (Alumina).

Apabila jumlah massa KMnO_4 terlalu sedikit maka material berpori masih memiliki luas area yang tidak terisi dan massa terlalu banyak maka permukaan material berpori sudah jenuh.

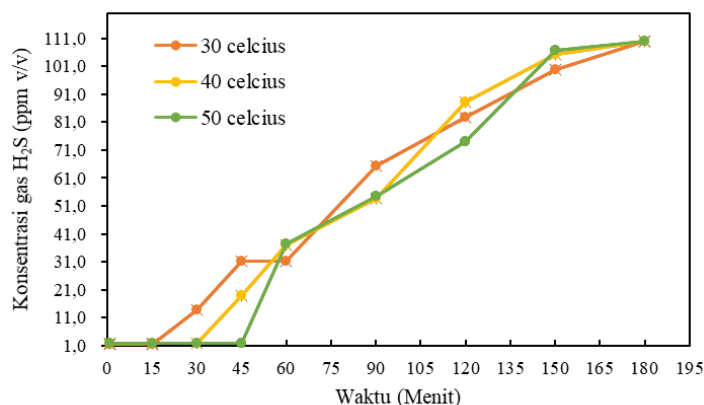


Gambar 3. Penghilangan kontaminan gas H_2S dalam biogas dengan 4 gram 20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120 dalam reaktor unggun tetap (flow 8,566 ml/menit dan konsentrasi 110,7 ppm v/v gas H_2S) suhu tidak dikontrol

Seperti ditampilkan pada Gambar 3. bahwa *nano-confinement* KMnO_4 mengoksidasi gas H_2S di dalam reaktor unggun tetap pada suhu tidak dikontrol. Gas H_2S yang pada awalnya memiliki konsentrasi 110,07 ppm v/v kemudian teroksidasi konsentrasinya mengalami penurunan secara signifikan menjadi 1,699 ppm v/v (98,48% menghilangkan H_2S) selama waktu 15 menit selama belum jenuh. Pada waktu 45 menit berikutnya sampai waktu 60 menit konsentrasi gas H_2S cenderung stabil yaitu 107,37 ppm v/v hal ini menunjukkan karena sudah jenuh sehingga kemampuan mengoksidasi menurun.

3.3 Oksidasi H_2S dalam Reaktor Unggun Tetap Menggunakan *Nano-Confinement* KMnO_4 pada Beberapa Suhu

Tahapan penelitian selanjutnya yaitu memvariasikan suhu 30°C , 40°C dan 50°C dalam reaktor unggun tetap selama 3 jam percobaan oksidasi gas H_2S dengan material 20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120. Material partikel 20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120 mampu menurunkan gas H_2S pada semua variasi suhu. Pada suhu 30°C , 40°C dan 50°C secara berturut-turut penurunan gas H_2S mula-mula kontak dengan *nano-confinement* KMnO_4 yaitu 98,7%; 98,45% dan 98,36%. Pada suhu semakin tinggi maka penurunan mula-mula kandungan H_2S yang signifikan semakin lama dikarenakan tumbukan antar partikel gas H_2S dan nano partikel KMnO_4 semakin tinggi. Semakin tinggi suhu maka gas H_2S semakin rendah, sedangkan pada suhu 30°C gas H_2S sudah meningkat seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 4. Penghilangan kontaminan gas H₂S dalam biogas dengan 6 gram 20% KMnO₄-KATKS-H₂O₂-120 dalam reaktor unggun tetap (flow 8,566 ml/menit dan konsentrasi 110,7 ppm v/v gas H₂S) pada beberapa temperatur

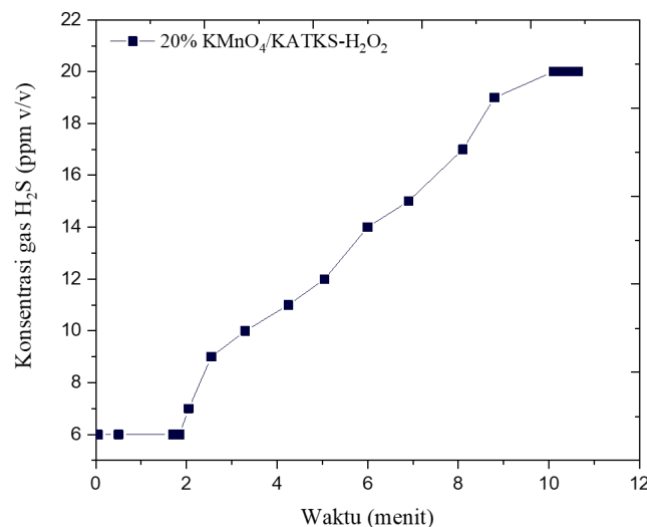
Fenomena oksidasi dalam reaktor unggun tetap memiliki konstanta laju reaksi antara gas H₂S dengan *nano-confinement* KMnO₄ pada kondisi operasi suhu oksidasi 30, 40, dan 50°C secara berturut-turut yaitu 0,0263, 0,0268 dan 0,0278 s⁻¹.

Goldnik dan Turek (2016) menghasilkan konstanta laju reaksi antara gas H₂S dan *nano-confinement* KMnO₄ pada suhu 30°C cenderung sama namun lebih rendah yaitu 0,021 s⁻¹. Hal tersebut dikarenakan partikel KMnO₄ diembankan ke dalam alumina dengan tidak memperhatikan bagaimana partikel KMnO₄ tersebut dapat terdispersi merata.

3.4 Oksidasi H₂S dalam Reaktor Biogas Unggun Tetap Menggunakan *Nano-Confinement* KMnO₄ pada Beberapa Suhu

Setelah diaplikasikan secara kontinyu dalam reaktor unggun tetap di laboratrium menggunakan campuran H₂S berkonsentrasi 110,07 ppm v/v dalam nitrogen. Tahap selanjutnya diaplikasikan secara nyata pada pembangkit listrik tenaga biogas berbahan limbah buah di pasar Gemah Ripah. Tentu secara teori akan berbeda karena pada plant biogas terdapat gas kontaminan seperti CO₂, CO, O₂, N₂ dan tentunya gas H₂S.

Penelitian oksidasi gas H₂S menggunakan *nano-confinement* yang mengembankan partikel KMnO₄ ke dalam partikel alumina dalam kondisi batch dan kontinyu pernah dilakukan dengan hasil yang sama yaitu mampu menurunkan 60% gas H₂S dengan catatan konsentrasi gas H₂S dan impurities yang masuk ke dalam reaktor adalah stabil (Jin et al., 2018).



Gambar 5. Penghilangan kontaminan gas H₂S dalam biogas dengan 4 gram 20% KMnO₄-KATKS-H₂O₂-120 dalam reaktor unggun tetap (flow 50 ml/menit dan konsentrasi 20 ppm v/v gas H₂S) suhu tidak dikontrol

Seperti disajikan pada Gambar 5, bahwa biogas yang mengandung 20 ppm v/v gas H₂S mengalir dengan laju alir 50 ml/menit. Pada awal kontak gas H₂S yang awalnya 20 ppm menurun menjadi 6 ppm artinya mampu menghilangkan sampai 70%. Setelah 2 menit kecenderungan konsentrasi gas H₂S kembali menjadi 20 ppm hal tersebut karena partikel KMnO₄ mengalami kondisi jenuh sehingga tidak mampu mengoksidasi.

Belum ada peneliti lain yang melakukan secara kontinyu dalam reaktor unggun tetap. Dalam reaktor batch berisi campuran gas H₂S dan nitrogen mampu menurunkan hingga 98,07% (Suhirman et al., 2021). Terdapat perbedaan persen *removal* gas H₂S diakibatkan dalam biogas terdapat gas

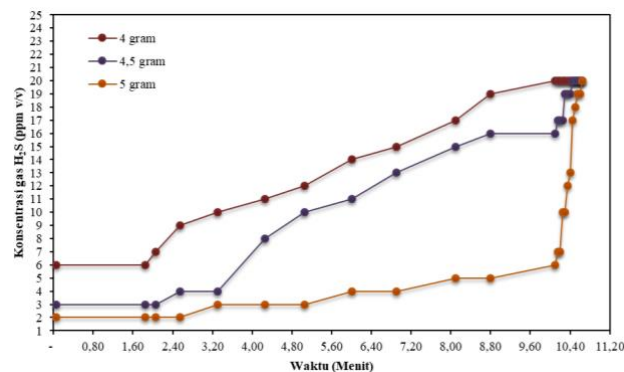
impurities lain seperti karbon dioksida (Wang et al., 2019). Karbon dioksida dapat diadsorpsi oleh karbon aktif tempurung kelapa sawit hingga 80% (Hashim Khader et al., 2021).

Faktor berikutnya adalah laju alir yang mengalir akan mempengaruhi kemampuan *nano-confinement* KMnO_4 dalam mengoksidasi gas H_2S pada biogas. Penelitian di laboratorium dalam reaktor unggun tetap memiliki laju alir 8,566 ml gas $\text{H}_2\text{S}+\text{N}_2$ /menit. Sedangkan di plant biogas memiliki laju alir 50 ml H_2S dalam biogas/menit. Maka perlu adanya perbandingan dengan jumlah massa *nano-confinement* KMnO_4 .

3.5 Oksidasi H_2S dalam Reaktor Biogas Unggun Tetap Menggunakan Variasi *Nano-confinement* KMnO_4

Secara teori dengan laju alir 1 mg H_2S /menit yang kontak dengan 4 mg *nano-confinement* pada mula-mula reaksi sudah mampu menurunkan hingga 98,07%. Namun karena ada beberapa faktor seperti tekanan laju alir yang berpotensi menurunkan efektivitas oksidasi karena material *nano-confinement* ikut terbawa aliran dan adanya gas pengotor lain yang ikut teroksidasi maka perlu ditambahkan massa *nano-confinement*.

Dalam percobaan ini variasi yang digunakan 4 mg, 4,5 mg dan 5 mg yang menghasilkan penurunan gas H_2S pada mula-mula adalah 70%, 85%, dan 90%. Seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Penghilangan kontaminan gas H_2S dalam biogas dengan variasi massa 20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120 dalam reaktor unggun tetap (flow 50 ml/menit dan konsentrasi 20 ppm v/v gas H_2S) suhu tidak dikontrol.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa *nano-confinement* KMnO_4 (20% KMnO_4 -KATKS- H_2O_2 -120) dapat diaplikasikan untuk menurunkan kadar gas H_2S dalam biogas menggunakan reaktor unggun tetap secara kontinyu. Gas H_2S di dalam reaktor unggun tetap dengan temperatur tidak dikontrol, 30°C, 40°C, dan 50°C konsentrasinya menurun secara berturut-turut 98,48%, 98,7%, 98,45% dan 98,36%. Gas H_2S yang konsentrasinya 20 ppm dalam reaktor biogas unggun tetap mengalami penurunan dengan variasi 4 gram, 4,5 gram dan 5 gram secara berturut-turut yaitu 70%, 85% dan 90%.

Daftar Pustaka

Ariyanto, T., Kurniasari, M., Laksmana, W. T., 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(8), 4631–4636. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2166-0>

- Ariyanto, T., Sarwendah, R. A. G., Amimmal, Y. M. N., Laksmana, W. T., & Prasetyo, I. (2019). Modifying nanoporous carbon through hydrogen peroxide oxidation for removal of metronidazole antibiotics from simulated wastewater. *Processes*, 7(11). <https://doi.org/10.3390/pr7110835>
- Cao, Y., Zheng, X., Du, Z., Shen, L., Zheng, Y., Au, C., & Jiang, L. (2019). Low-Temperature H₂S Removal from Gas Streams over γ -FeOOH, γ -Fe₂O₃, and α -Fe₂O₃: Effects of the Hydroxyl Group, Defect, and Specific Surface Area. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 58(42), 19353–19360. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b03430>
- De Crisci, A. G., Moniri, A., & Xu, Y. (2019). Hydrogen from hydrogen sulfide: towards a more sustainable hydrogen economy. In *International Journal of Hydrogen Energy* (Vol. 44, Issue 3, pp. 1299–1327). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.035>
- Deng, Y., Vellingiri, K., Kim, K. H., Boukhvalov, D. W., & Philip, L. (2018). Activation strategies of metal-organic frameworks for the sorption of reduced sulfur compounds. *Chemical Engineering Journal*, 350, 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.006>
- Hashim Khader, E., Jassim Mohammed, T., Mirghaffari, N., & Dawood Salman, ali. (2021). *Removal of Organic Pollutants from Produced Water by Batch Adsorption Treatment*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-214883/v1>
- Hernando, A., Ariyanto, T., & Prasetyo Imam. (2019). Preserving Climacteric Fruits by Ripening Hormone Oxidation using nano-KMnO₄ Confined within Nanoporous Carbon. *AJChE*, 19(1), 54–65.
- Jin, X., Wu, X., Zhang, Z., Huang, Z., Liu, Y., Fang, M., & Min, X. (2018). Preparation of carbon-coated Fe₃O₄ porous particles and their adsorption properties of iron (III) ion. *Water Science and Technology: Water Supply*, 18(1), 306–317. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.082>
- San-Valero, P., Peña-roja, J. M., Javier Álvarez-Hornos, F., Buitrón, G., Gabaldón, C., & Quijano, G. (2019). Fully aerobic bioscrubber for the desulfurization of H₂S-rich biogas. *Fuel*, 241, 884–891. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.12.098>
- Suhirman. (2020). *Menentukan Pengaruh Kapasitas, Waktu Tinggal, jumlah Material Anode Dari Material Elektro Kimia Coagulant Dan Elektro Adjust pH Pada Study Pengaplikasian Di Alat Clarifier Untuk Pengolahan Air Bersih*. Universitas Gadjah Mada.
- Suhirman, S., Ariyanto, T., & Prasetyo Imam. (2021). Preparation of Potassium Permanganate Confined in Porous Carbon Synthesized from Palm Kernel Shell and its Application for Hydrogen Sulfide Removal. *Trans Tech Publications Ltd, Switzerland*.
- Wang, Y., Wang, Z., Pan, J., & Liu, Y. (2019). Removal of gaseous hydrogen sulfide using Fenton reagent in a spraying reactor. *Fuel*, 239, 70–75. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.143>
- Watanabe, T., & Sholl, D. S. (2020). Molecular chemisorption on open metal sites in Cu₃ (benzenetricarboxylate) 2: A spatially periodic density functional theory study. *Journal of Chemical Physics*, 133(9). <https://doi.org/10.1063/1.3479041>
- Zheng, X. X., Shen, L. J., Chen, X. P., Zheng, X. H., Au, C. T., & Jiang, L. L. (2018). Amino-Modified Fe-Terephthalate Metal-Organic Framework as an Efficient Catalyst for the Selective Oxidation of H₂S. *Inorganic Chemistry*, 57(16), 10081–10089. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.8b01232>
- Zheng, X., Zhang, L., Fan, Z., Cao, Y., Shen, L., Au, C., & Jiang, L. (2019). Enhanced catalytic activity over MIL-100(Fe) with coordinatively unsaturated Fe²⁺/Fe³⁺ sites for selective oxidation of H₂S to sulfur. *Chemical Engineering Journal*, 374, 793–801. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.228>

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada team karbon di laboratorium Polimer UGM yang telah mendukung serta team yang ada di plant Biogas pasar Gemah Ripah Yogyakarta. Kepada pabrik minyak kelapa sawit dengan perjanjian (PRJ-65/DPKS/2018). Kepada kantor K3 Surabaya yang membantu proses analisa gas H₂S.