

Rancang Bangun Sistem Pemurnian Biogas Menggunakan Metode Biofiksasi-Adsorpsi oleh Mikroalga *Chlorella Vulgaris* dan Karbon Aktif

Bambang Susilo*, Shinta Rosalia Dewi, Gunomo Djoyowasito, Natalia Simanjuntak

Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145

*Penulis Korespondensi, Email: susilo@ub.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan akan energi semakin hari semakin meningkat seiring dengan peningkatan populasi manusia. Hal ini menyebabkan tingkat ketergantungan terhadap sumber energi fosil semakin tinggi dan rentan mengalami krisis energi. Oleh karena itu ketergantungan akan energi fosil harus dikurangi penggunaannya dengan cara menggunakan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui. Biogas merupakan sumber energy alternative yang diproduksi dari bahan organic melalui proses degradasi anaerobik. Komponen utama biogas yaitu metana (CH_4), karbondioksida (CO_2), dan H_2S . Kadar CO_2 di dalam biogas menyebabkan turunnya nilai kalori biogas oleh karena itu perlu dilakukan pemurnian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem pemurnian biogas dengan proses pemurnian dua tahap menggunakan metode biofiksasi-adsorpsi dan mengetahui penurunan CO_2 dalam biogas dengan menggunakan sistem pemurnian. Penelitian ini menggunakan laju alir biogas 1,5 l/min. Hasil percobaan pemurnian biogas menunjukkan terjadi penurunan kadar CO_2 yang cukup besar dengan menggunakan proses pemurnian metode kombinasi. Berdasarkan data hasil pengujian diperoleh kadar CO_2 kontrol sebesar 42%. Setelah dilakukan pemurnian menggunakan metode biofiksasi-adsorpsi diperoleh penurunan tertinggi kadar CO_2 hingga mencapai 26,4% sehingga kadar CO_2 menjadi 15,60%. Berdasarkan hasil pengujian data maka diperoleh efektivitas penurunan kadar CO_2 menggunakan metode biofiksasi-adsorpsi adalah sebesar 62,86%.

Kata kunci: Biogas, Pemurnian, Karbon aktif, *Chlorella vulgaris*

Biogas Purification System Design Using Biofixation-Adsorption Method by Microalgae *Chlorella vulgaris* and Activated Carbon

ABSTRACT

*The necessary for energy significantly increase in line with the increase in human population. This leads to a higher level of consumption on fossil energy sources and leads to face the energy crisis. Therefore, consumption on fossil energy should be reduced by using renewable energy sources. Biogas is an alternative energy source produced from organic materials through anaerobic degradation process by methanogen bacteria. The main components of biogas are methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2), and H_2S . The CO_2 content in biogas causes a decrease in the calorific value of biogas therefore it needs to be purified. The purposes of this study are to design a biogas purification system with two-stage purification process using biofixation-adsorption method by microalgae *Chlorella vulgaris* and activated carbon and to know the reduction of CO_2 content in biogas by using biogas purification system. This research used biogas flowrate at 1.5 l/min. The result of biogas purification experiment showed that there was a reduction of CO_2 content by using a combination method in the purification process. Based on the test results data, it is obtained control content of CO_2 by*

42%. And after purification using biofixation-adsorption method, the CO₂ content decreased by 26.4% so the final CO₂ content reached 15.60%. Based on the results of testing, the effectivity of CO₂ reduction using biofixation-adsorption method reached 62.86%.

Key words: Biogas, Purification, Activated Carbon, Chlorella vulgaris

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi semakin hari semakin meningkat seiring dengan peningkatan populasi manusia. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil menyebabkan cadangan sumber energi tersebut semakin menipis karena bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui, selain itu juga berdampak terhadap penurunan kualitas lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil secara berlebihan. Oleh karena itu ketergantungan akan energi fosil harus dikurangi pemakaiannya dengan cara menggunakan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Salah satu dari sumber energi alternatif yaitu biogas.

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber daya pertanian dan peternakan yang cukup besar, dimana kotoran ternak dan limbah pertaniannya berpotensi sebagai bahan baku dalam pembuatan biogas (Susanto dkk, 2013). Selain limbah industri peternakan dan pertanian, bahan baku pembuatan biogas juga dapat diperoleh dari limbah industri makanan (seperti tahu, tempe, susu dan restoran), sampah organik pasar, limbah domestik/tinja dan juga limbah industri lainnya (Harihastuti, 2016). Dengan pemanfaatan limbah-limbah tersebut sebagai bahan baku pembuatan biogas dapat mengurangi dan mengelola limbah menjadi salah satu sumber energi terbarukan yaitu biogas.

Biogas merupakan sumber energi alternatif yang murah, efisien dan ramah lingkungan (Ramaraj & dussadee, 2015). Biogas dapat diproduksi dari bahan organik yang telah mengalami proses degradasi secara anaerobik oleh bakteri metanogen (Wahyuni, 2013). Komponen utama biogas yaitu metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), H₂S dan beberapa gas lain dalam jumlah relatif kecil (Khoiyangbam *et al.*, 2011). Adanya kandungan CO₂ dalam biogas memberikan efek negatif yaitu dapat menurunkan nilai kalori biogas. Tingkat kemurnian gas metana yang cukup tinggi dan rendahnya kandungan gas karbondioksida dalam biogas menjadi hal yang perlu diperhatikan untuk menghasilkan pembakaran yang efisien (Iriani, P dan Ari, H, 2014). Oleh karena itu, perlu dilakukan pemurnian untuk menghilangkan gas-gas pengotor agar diperoleh biogas dengan kandungan metana yang tinggi. Pemurnian biogas dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti adsorpsi, *cryogenic*, *water scrubbing*, *membrane separation*, dan *chemical absorption* (Zhao *et al.*, 2010).

Beberapa penelitian terdahulu dalam pemurnian biogas yang telah dilakukan oleh Prayugi dkk (2015) menggunakan metode adsorpsi gas karbondioksida menggunakan NaOH 0,1 M dapat menurunkan kandungan karbondioksida dari 19,12% menjadi 4,79% dan menggunakan metode adsorpsi oleh karbon aktif dapat menurunkan kandungan karbondioksida menjadi 10,50%. Sedangkan berdasarkan pemurnian menggunakan metode biologis menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris*, *Chlamydomonas sp* dan *Spirulina sp* pada penelitian yang dilakukan oleh (Abdurrahman dkk, 2013) diperoleh hasil penyerapan karbondioksida oleh masing-masing mikroalga yaitu sebesar 5,51%, 0,52% dan 8,91% pada laju alir 20 mL/menit. Pada pemurnian biogas menggunakan metode biofiksasi oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* yang dilakukan oleh Zuhdi dkk (2014) menggunakan fotobioreaktor *triple effect* diperoleh hasil penurunan karbondioksida dari 18,29% menjadi 5,03%.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dilakukan dalam mereduksi karbondioksida maka penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemurnian biogas untuk menurunkan kandungan gas karbon dioksida (CO₂) di dalam biogas dengan melakukan proses pemurnian biogas melalui dua tahap pemurnian. Dimana digunakan dua metode dalam proses pemurnian yaitu metode biofiksasi-adsorpsi mikroalga *Chlorella vulgaris* dan karbon aktif. Penggunaan mikroalga *Chlorella vulgaris* pada proses pemurnian karena kemampuan mikroalga dalam

mereduksi karbondioksida yang cukup tinggi melalui proses biofiksasi (Ramaraj et al, 2016). Sedangkan pemilihan karbon aktif sebagai adsorben dikarenakan CO₂ dan karbon aktif digunakan pada pemurnian tahap kedua untuk menyerap karbondioksida yang masih tersisa setelah proses biofiksasi oleh mikroalga *Chlorella vulgaris*, sehingga biogas yang dihasilkan memiliki kandungan karbon dioksida yang relatif rendah.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

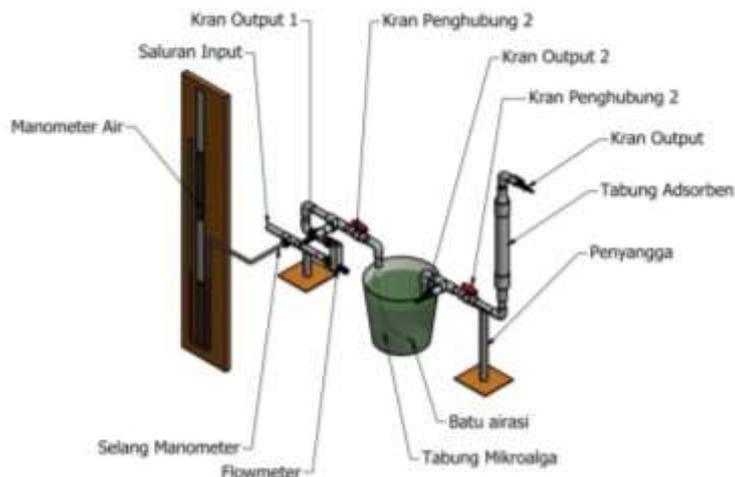
Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian adalah mikroalga *Chlorella vulgaris*, air laut, vitamin B12, pupuk walne, alkohol 70% dan karbon aktif. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa pvc, tabung plastic, manometer air, gas analyzer, timbangan digital, gelas ukur 500 dan 5 ml, lampu TL, sambungan pipa, kran, manometer air, aerator, ban, dan haemocytometer.

Metode Penelitian

Kultivasi Mikroalga

Bahan yang digunakan meliputi 5000 ml air laut atau air tawar, 500 bibit mikroalga *Chlorella vulgaris*, 5 ml vitamin, 5 ml pupuk *walner*. Kemudian dilakukan sterilisasi peralatan yang akan digunakan pada proses kultivasi dengan merendam peralatan ke dalam air panas. Selanjutnya dilakukan perebusan air laut hingga mendidih kemudian dimasukkan kedalam toples dan diamankan selama 24 jam, toples ditutup rapat. Setelah itu, dipasang batu aerasi, selang dan aerator pada toples, lalu dimasukkan vitamin, pupuk walne dan bibit mikroalga *Chlorella vulgaris*. Kemudian dipasang lampu TL sebagai sumber cahaya dan tunggu kultivasi selama selama 5-7 hari. Ketika mencapai kepadatan sel 1×10^6 - 1×10^7 alga siap dipanen dan digunakan dalam penelitian pemurnian biogas.

Pembuatan dan Perangkaian Alat Sistem Pemurnian Biogas



Gambar 1. Rancang Bangun Alat Pemurnian Biogas Menggunakan Metode Biofiksasi-Adsorpsi oleh Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan Karbon Aktif

Pembuatan rangkaian alat terdiri atas beberapa bagian utama yaitu, tabung plastic berisi kultur mikroalga *Chlorella vulgaris* sebanyak 5 l dan tabung adsorben berisi karbon aktif

dengan berat 200 g. Pada proses pembuatan alat pertama-tama, pada tabung plastik bening ukuran diameter bawah 19 cm, diameter atas 20 cm dengan tinggi 25 cm, dipasang selang dan batu aerasi kemudian ditutup dan disambungkan selang ke pipa PVC. Kemudian dipotong pipa PVC diameter 4.2 cm sepanjang 30 cm lalu disambungkan dengan penyambung pipa PVC untuk menutup tabung pipa PVC sebagai wadah karbon aktif. Kemudian pipa PVC disambungkan dengan tabung mikroalga dengan cara direkatkan menggunakan lem pipa PVC. Kemudian dirangkai seluruh rangkaian alat dan diatur laju alir pada flowmeter 1.5 l/menit. **Gambar 1** di bawah menunjukkan desain dan rangkaian sistem pemurnian biogas menggunakan metode biofiksasi-adsorpsi.

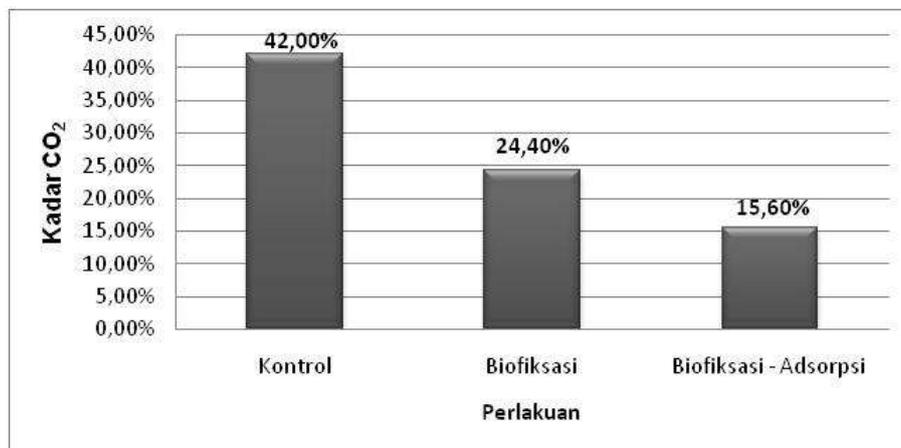
Proses Pemurnian Biogas

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 2 tahapan pemurnian biogas, dimana pada tahap pertama biogas akan dialirkan menuju tabung mikroalga *Chlorella vulgaris*, setelah itu gas akan mengalir secara *continue* pada pemurnian tahap kedua yaitu menggunakan adsorben karbon aktif. Pelaksanaan penelitian pada pemurnian biogas menggunakan metode biofiksasi-adsorpsi pertama-tama adalah menyiapkan alat pemurnian biogas, kemudian sterilkan reaktor tabung mikroalga dengan alkohol 70%, kemudian masukkan mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan kepadatan $1 \times 10^6 - 1 \times 10^7$ sebanyak 5 liter kedalam tabung photobioreaktor, kemudian masukkan 200 g karbon aktif kedalam tabung adsorben. Setelah itu tutup rapat tabung photobioreaktor dan tabung adsorben dan mulai proses pemurnian dengan membuka kran penyalur biogas. Setelah melalui proses pemurnian, gas kemudian akan keluar melalui kran output dan ditampung pada ban untuk diuji kadar karbondioksida pada biogas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Karbon dioksida (CO₂)

Pengukuran kandungan CO₂ dilakukan dengan menggunakan *gas analyzer* di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang. *Gas analyzer* yang digunakan tipe *stargas 898* dan *Orsat Aparatus*. Pembacaan kadar CO₂ menggunakan alat ini berupa persentase (%) gas. Sample biogas yang terdapat pada ban dalam dihubungkan dengan selang *gas analyzer* kemudian sample biogas yang terdapat didalam ban akan dihisap masuk ke dalam *gas analyzer* dan proses pembacaan kadar CO₂ didalam biogas berlangsung sekitar 6 detik kemudian dapat dilihat hasil pembacaan pada *screen gas analyzer*. **Gambar 2** menunjukkan kadar CO₂ sebelum dan sesudah proses pemurnian.

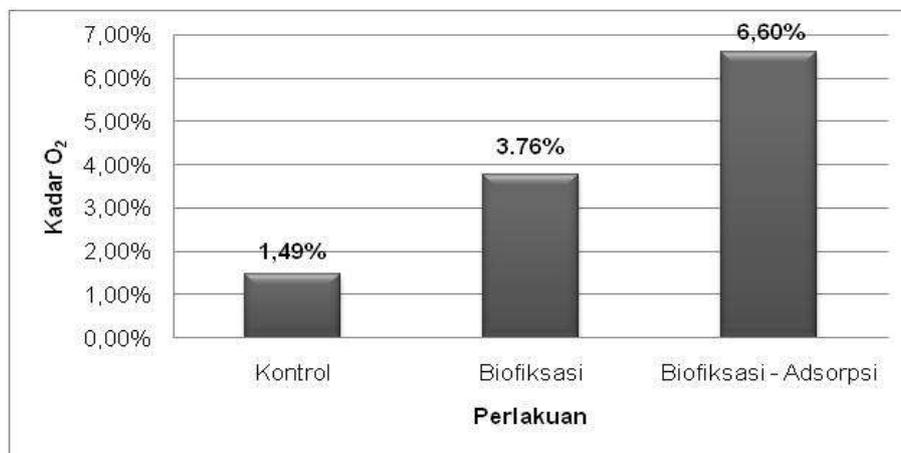


Gambar 2. Pengaruh Proses Pemurnian Menggunakan Metode Biofiksasi-Adsorpsi Terhadap Kadar CO₂ Biogas

Berdasarkan data pada **Gambar 2**, kadar CO₂ awal sebelum dilakukan pemurnian adalah sebesar 42%, setelah dilakukan dilakukan pemurnian dengan tahap satu menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris*, kadar CO₂ turun sebesar 17,6% menjadi 24,4% dan setelah melalu proses pemurnian pada tahap kedua, kadar CO₂ dari 24,4% turun sebesar 8,8% menjadi 15,60%. Sehingga secara keseluruhan kadar CO₂ dari 42% setelah dilakukan pemurnian menggunakan metode biofiksasi-adsorpsi oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* dan karbon aktif turun menjadi 15,60% dengan total penurunan sebesar 26,40%.

Kadar Oksigen (O₂)

Kandungan oksigen pada gas diukur menggunakan alat yang sama untuk mengukur kadar karbon dioksida yaitu *gas analyzer tipe stargas 898*. Proses pengujian kadar O₂ menggunakan *gas analyzer* dilakukan dengan langkah yang sama. **Gambar 3** di bawah menunjukkan hasil pengujian kadar O₂ pada biogas.

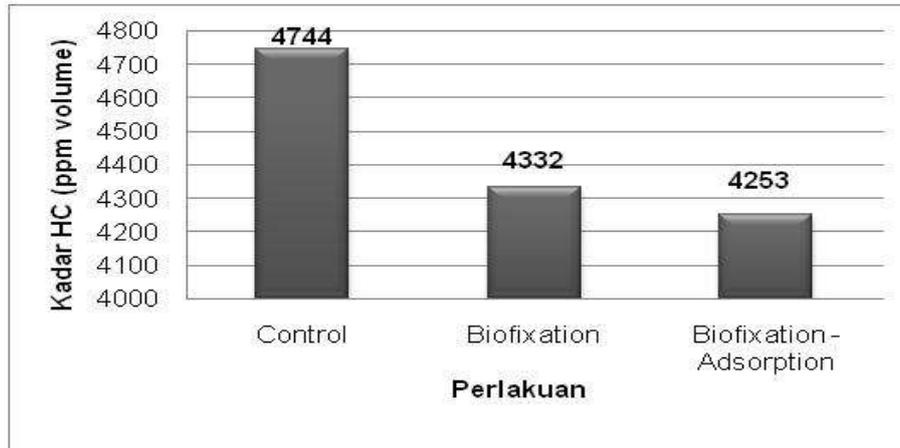


Gambar 3. Pengaruh Proses Pemurnian Menggunakan Metode Biofiksasi-Adsorpsi Terhadap Kadar O₂ Biogas

Berdasarkan **Gambar 3**, diperoleh kandungan oksigen pada biogas sebelum dilakukan pemurnian adalah sebesar 1,49% dan setelah proses pemurnian menggunakan mikroalga kadar oksigen mengalami kenaikan sebesar 2,23% sehingga kadar oksigen menjadi 3,72%. Proses peningkatan oksigen ini dikarenakan pada proses pemurnian biogas menggunakan mikroalga dilakukan pada proses fotosintesis sehingga hasil samping dari proses foto sintesis tersebut berupa oksigen dan menyebabkan peningkatan kadar oksigen pada biogas. Hal ini membuktikan bahwa proses pemurnian biogas menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* berlangsung karena terjadi proses fotosintesis tersebut. Setelah dilakukan proses pemurnian pada tahap kedua yaitu menggunakan karbon aktif kadar O₂ mengalami kenaikan sebesar 2,88% dari kadar O₂ setelah pemurnian dengan mikroalga sebesar 3,72% menjadi 6,6%, hal ini dikarenakan terserapnya CO₂ oleh karbon aktif sehingga meningkatkan kadar O₂ dalam biogas. Peningkatan oksigen pada biogas ini, memberikan efek positif terhadap tingkat pembakaran biogas, dimana dengan meningkatnya kaar oksigen dalam biogas maka akan terjadi peningkatan pembakaran biogas (lebih mudah dibakar).

Kadar Hidrokarbon Biogas

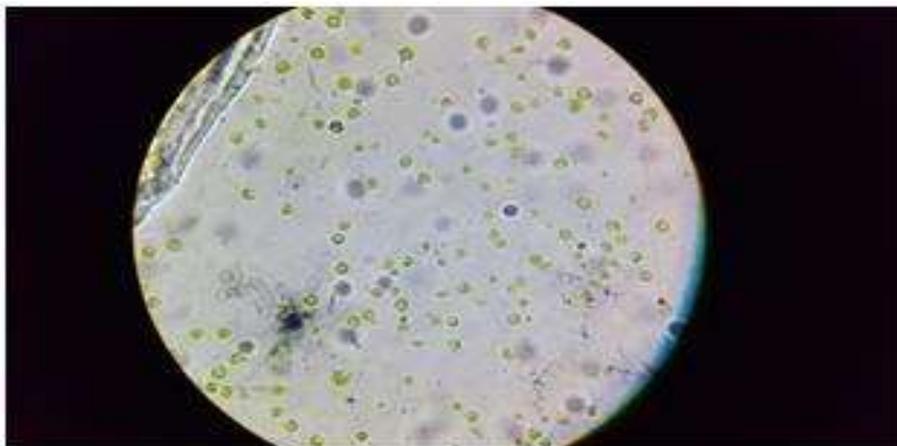
Pengukuran kadar hidrokarbon dalam biogas dilakukan pada saat melakukan pengukuran kadar karbon dioksida dan juga oksigen yaitu dengan menggunakan *gas analyzer tipe stargas 898*. Hasil pengukuran kadar hidro karbon pada biogas dapat dilihat pada **Gambar 4** di bawah ini.



Gambar 4. Pengaruh Proses Pemurnian Menggunakan Metode Biofiksasi-Adsorpsi Terhadap Kadar Hidrokarbon Biogas

Berdasarkan **Gambar 4**, diperoleh kadar hidro karbon pada biogas awal sebelum dilakukan pemurnian yaitu sebesar 4744 ppm volume, setelah dilakukan pemurnian menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* kadar hidro karbon mengalami penurunan sebesar 412 ppm volume menjadi 4332 ppm volume. Dan setelah dilakukan pemurnian menggunakan metode dua langkah biofiksasi dan adsorpsi oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* dan karbon aktif kadar hidro karbon pada biogas menurun sebesar 491 ppm volume dari kadar awal 4744 ppm volume menjadi 4253 ppm volume. Penurunan kadar hidro karbon ini dapat saja disebabkan sebagian hidro karbon terserap oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* maupun adsorben karbon aktif, sehingga dapat terjadi penurunan yang tidak signifikan. Selain itu penurunan kadar hidrokarbon pada biogas juga dapat disebabkan hidrokarbon yang ikut terlarut/bereaksi dengan air yang terdapat pada pemurnian tahap pertama. Namun secara keseluruhan penurunan hidrokarbon pada biogas ini, tidak terlalu berpengaruh besar terhadap kandungan biogas dikarenakan penurunan yang terjadi tidak memiliki rentang yang terlalu besar.

Kepadatan Mikroalga *Chlorella vulgaris*



Gambar 5. Kepadatan *Chlorella vulgaris*

Kepadatan mikroalga yang digunakan pada proses pemurnian biogas adalah $\pm 1 \times 10^7$ sel/ml. kepadatan mikroalga dapat dihitung menggunakan alat haemocytometer. Kepadatan mikroalga yang digunakan pada proses pemurnian biogas berpengaruh terhadap penyerapan CO_2 . Semakin tinggi kepadatan sel mikroalga *Chlorella vulgaris*, maka kebutuhan akan

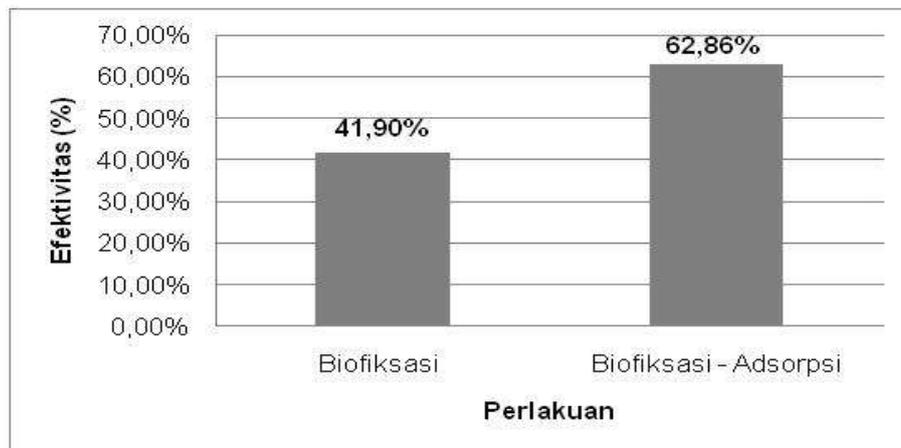
penyerapan biogas juga akan semakin tinggi. Pada penelitian kepadatan mikroalga *Chlorella vulgaris* setelah kultivasi selama 8-9 hari mencapai $\pm 1 \times 10^7$ sel/ml. Kepadatan mikroalga *Chlorella vulgaris* yang digunakan untuk memurnikan biogas yaitu $5,65 \times 10^6$ sel/ml dan setelah digunakan untuk memurnikan biogas kepadatan mikroalga *Chlorella vulgaris* meningkat menjadi $1,55 \times 10^7$ sel/ml. Kenaikan kepadatan sel pada mikroalga *Chlorella vulgaris* dikarenakan selama proses pemurnian mikroalga *Chlorella vulgaris* menyerap CO_2 di dalam biogas sebagai nutrisi melalui proses fotosintesis oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* pada proses pemurnian berlangsung. **Gambar 5** menunjukkan pengamatan mikroalga *Chlorella vulgaris* menggunakan foto mikroskop.

Efektivitas Penurunan CO_2

Efektivitas penurunan karbondioksida (CO_2) biogas dapat dihitung setelah diperoleh data sample uji hasil pengujian biogas menggunakan *gas analyzer* dan *orsat aparatus* dari Laboratorium Motor Bakar, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Kadar CO_2 yang diperoleh dan efektivitas penurunan CO_2 biogas berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, masing-masing ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **Gambar 6**.

Tabel 1. Kadar CO_2 Biogas

Perlakuan	Kadar CO_2
Kontrol	42.0%
Pemurnian dengan mikroalga	24.4%
Pemurnian dengan mikroalga dan karbon aktif	15.6%



Gambar 5. Efektivitas Penurunan Kadar CO_2 Biogas

Berdasarkan grafik diatas diatas diketahui nilai efektifitas penurunan CO_2 dengan pemurnian biogas menggunakan metode biofiksasi oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* memiliki efektifitas penurunan yaitu sebesar 41,90%. Sedangkan proses pemurnian biogas dengan melakukan metode kombinasi antara metode biofiksasi dan adsorpsi oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* dan adsorben karbon aktif, memiliki efektifitas penurunan yang lebih tinggi yaitu sebesar 62,86%. Berdasarkan data yang telah diperoleh diatas dapat terbukti bahwa dengan menggunakan metode dua langkah (kombinasi) biofiksasi-adsorpsi berpengaruh besar terhadap efektifitas penurunan kadar CO_2 biogas dibandingkan hanya menggunakan satu metode pemurnian.

KESIMPULAN

Pemurnian biogas menggunakan sistem pemurnian dengan metode biofiksasi-adsorpsi mampu menurunkan kadar (CO_2) pada biogas dengan total penurunan sebesar 26,40%.

Penurunan kadar (CO₂) dari 42% menjadi 15,60% menggunakan laju alir 1.5 Liter/Menit. Sedangkan kadar (O₂) pada biogas mengalami peningkatan setelah proses pemurnian. Dimana sebelum dilakukan pemurnian kadar O₂ adalah sebesar 1,49% dan setelah dilakukan proses pemurnian mengalami kenaikan sebesar 5,11% menjadi 6,6%. Untuk efektivitas penurunan CO₂ dengan menggunakan alat pemurnian biogas menggunakan metode biofiksasi-adsorpsi diperoleh sebesar 62,86%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman, O., Meiitiandari, M., Luqman, B. 2013. Pengikatan Karbon Dioksida dengan Mikroalga (*Chlorella vulgaricus*, *Chlamydomonas* sp., *Spirulina* sp.) dalam Upaya untuk Meningkatkan Kemurnian Biogas. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol 2(4): 212-216.
- Harihastuti, Nani. 2016. *Pemurnian Biogas untuk Mencapai Pipeline Quality Gas Sebagai Sumber Energi Terbarukan yang Ramah Lingkungan*. Disertasi. Program Studi Doktrol Ilmu Lingkungan Hidup, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Iriani, P., Ari, H. 2014. Pemurnian Biogas Melalui Kolom Beradsorben Karbon Aktif. *Jurnal Sigma-Mu*. Vol 6.No.2.
- Khoiyangbam, R.S, Gupta, N, & Kumar, S. 2011. *Biogas Technology Toward Sustainable Developmen*. New Delhi: The Energy and Resources Institute (TERI).
- Prayugi, G.E, Sumardi, H.S, Rini, Y. 2015. *Pemurnian Biogas dengan Sistem Pengembunan dan Penyaringan Menggunakan Beberapa Bahan Media*. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. Vol 3(1): 7-14.
- Rameshprabu, R., Yuwwalee, U., Natthawud, D. 2016. Cultivation of Green Microalga, *Chlorella vulgaricus* for Biogas Purification. *International Journal of New Technology and Research (IJNTR)*. Vol 2: 117-122.
- Ramaraj, R., Dussadee, N. 2015. Biological Purification for Biogas Using Algae Cultures: A Review. *International Journal of Sustainable and Green Energy. Special Issue: Renewable Energy Applications in the Agricultural Field and Natural Resource Technology*. Vol 4: 20-32.
- Wahyuni, S. 2013. *Paduan Praktis Biogas*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Zhao, Q., Leonhardt, E., MacConnell, C., Frear, C., Chen, S. 2010. Purification Technologies for Biogas Generates by Anaerobic Disgestion. *CSANR Research Report, Climate Friendly Farming*.
- Zuhdi, U., Argo, B.D., Lutfi, M., Hermanto, M.B. 2014. Penyerapan Kandungan CO₂ Biogas dari Digester Tipe Plastik Secara Kontinyu dengan Mikroalga (*Chlorella* sp.). *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. Vol 2(1):33-41.