



**KAJI EKSPERIMENTAL RADIASI API DARI PENGARUH VARIASI TEKANAN BIOGAS DAN LAJU ALIRAN KONSTAN PADA PROSES PEMURNIAN DAN TANPA PEMURNIAN**

**Pramoda Agung S, Yasika Seputra, Achmad Baidhowi, Sukma AP**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: [pramoda@untag-sby.ac.id](mailto:pramoda@untag-sby.ac.id)

**ABSTRAK**

*Biogas merupakan bahan bakar non fosil yang bersifat renewable (dapat diperbaharui) yang dapat dijadikan bio energi alternatif. Namun biogas memiliki kandungan pengotor-pengotor yang cukup tinggi pula seperti  $CO_2$  yang dapat menurunkan nilai kalor pembakaran serta  $H_2S$  yang berpotensi mencemari lingkungan. Untuk menghilangkan senyawa pengotor-pengotor dan meningkatkan nilai kalor pembakaran diperlukan pemurnian biogas dengan menggunakan zeolit alam. Pada penelitian kali ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik Biogas setelah proses pemurnian dan tanpa pemurnian dengan pengaruh tekanan dan laju aliran konstan ditinjau dari analisa perpindahan kalor secara radiasi. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengukur temperatur api yang dihasilkan biogas setelah proses pemurnian dan tanpa pemurnian. Hasil pengukuran temperatur api menunjukkan bahwa temperatur api biogas setelah proses pemurnian menghasilkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan tanpa pemurnian pada laju aliran 3 lpm dengan tekanan 20 Psi. Dari proses pemurnian didapat temperatur yang paling tinggi yaitu  $615^{\circ}C$  dan menghasilkan radiasi api 517,09 W sedangkan biogas tanpa pemurnian didapat temperatur yang paling tinggi yaitu  $536^{\circ}C$  dan menghasilkan radiasi api 370,46 W. Kemudian pada tekanan biogas 30 Psi dengan laju aliran 3 lpm dengan proses pemurnian didapat temperatur yang paling tinggi yaitu  $653^{\circ}C$  dan menghasilkan radiasi api sebesar 517,34 W. Sedangkan biogas tanpa pemurnian didapat temperatur paling tinggi yaitu  $601^{\circ}C$  dan menghasilkan radiasi api 460,32 W. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa proses pemurnian biogas dapat meningkatkan temperatur dan radiasi api biogas. Dan dari pengaruh tekanan menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan pada proses pemurnian maka semakin baik proses pemurniannya.*

**PENDAHULUAN**

Saat ini Bahan bakar fosil semakin lama semakin berkurang dikarenakan tingkat ketergantungan manusia terlalu tinggi terhadap bahan bakar fosil ini, hal ini membuat pemerintah dan beberapa kalangan masyarakat segera tersadar bahwa

ketergantungan terhadap bahan bakar fosil harus segera ditanggulangi, sebagaimana yang diketahui bahwa bahan bakar minyak bumi seperti bensin, solar, dan termasuk gas bumi yang termasuk dalam kategori yang berasal dari sumber energi fosil maka dari itu agar masalah

tersebut segera teratasi maka perlu adanya upaya penghematan energi dan mengganti bahan bakar fosil dengan bahan bakar alternatif yaitu Biogas.

Biogas dapat dihasilkan melalui proses fermentasi sampah organik dan kotoran sapi, oleh karena itu tidak perlu ada kekhawatiran akan semakin menipisnya persediaan sumber energi karena sumber energi tersebut bisa diperbarui. Namun biogas memiliki kandungan pengotor-pengotor yang cukup tinggi pula seperti  $\text{CO}_2$  yang dapat menurunkan nilai kalor pembakaran serta  $\text{H}_2\text{S}$  yang berpotensi mencemari lingkungan. Maka dari itu diperlukan pemurnian biogas untuk menghilangkan senyawa-senyawa pengotor tersebut agar dapat menghasilkan biogas dengan metana yang tinggi dan dapat menjadi sumber energi alternatif sebagai pengganti energi fosil.

Salah satu cara pemurnian biogas dapat dilakukan dengan cara adsorpsi. Adsorpsi merupakan salah satu sifat dasar benda, dimana benda mempunyai gaya tarik antar molekul. Adapun salah satu cara adsorpsi dengan menggunakan adsorben zeolit. Adsorben zeolit menyerap spesies gas yang tidak diinginkan seperti  $\text{CO}_2$  secara kuantitatif akan dihilangkan sehingga dapat menghasilkan biogas dengan kandungan  $\text{CH}_4$  yang tinggi. Dengan tingginya kadar  $\text{CH}_4$  maka semakin baik pula kualitas biogas.

Muhammad Dienullah (2018) Jurnal teknik mesin melakukan penelitian pemurnian menggunakan 3 bahan adsorben yaitu zeolit alam, zeolit sintetis, zeolit sintetis 3A, dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Untuk memaksimalkan kinerja zeolit alam sebagai adsorben diperlukan mengaktifasi dengan larutan NaOH dengan konsentrasi NaOH yang digunakan adalah 0%, 5%, dan 15%. Kemudian diaktifkan dengan aktivasi

fisik dibawah perlakuan panas pada  $250^\circ\text{C}$  untuk 4 jam. Hasil pemurnian biogas terbaik dengan metode aktivasi zeolit alam diperoleh pada aktivasi 5% NaOH dan diikuti oleh 15% dan 0% NaOH. Karena aktivasi ini menggunakan NaOH dengan konsentrasi 1-2 N (Molaritas) menyebabkan ukuran pori-pori pada mikro dapat dibersihkan. Setelah mendapat kualitas zeolit alam terbaik, sebuah studi tentang rasio adsorben untuk tabung adsorben diperoleh dari hasil terbaik di  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , zeolit sintetis, dan zeolit alam (1:1:2). Setelah diamati karena kemampuan adsorpsi zeolit alam lebih baik dari pada zeolit sintetis dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , oleh karena itu zeolit alam dalam tabung adsorben makin baik hasil pemurnian.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi antara lain:

1. Temperature  
Semakin tinggi temperaturnya, peristiwa adsorpsinya semakin baik.
2. Tekanan  
Semakin tinggi tekanan, semakin baik pula peristiwa adsorpsinya.
3. Jenis adsorbent.  
Adsorbent adalah suatu zat yang digunakan untuk menyerap zat lain yang terjadi pada permukaan adsorbent. Adopsi makin baik bila adsorbent yang digunakan mudah menyerap zat lain.
4. Jenis zat yang diadsorpsi.  
Bila zat yang diadsorpsi bersifat elektrolit maka zat tersebut mudah mengion, sehingga menimbulkan gaya tarik menarik antara ionnya.
5. Konsentrasi  
Untuk menyerap adsorbent yang luas permukaan dan beratnya tertentu maka zat yang di adsorpsi tergantung pada konsentrasi solute. Makin tinggi konsentrasi solute, makin besar pula zat yang dapat diadsorpsi.

Dari sekian penelitian yang ada kita ingin melakukan penelitian dari instalasi pemurnian biogas dan kemudian mengkaji karakteristik biogas dari pengaruh tekanan saat pemurnian dengan variasi laju aliran konstan ditinjau dari analisa perpindahan panas secara radiasi.

### Biogas

Energi merupakan salah satu permasalahan utama dunia. Kebutuhan energi di dunia hingga saat ini cenderung bergantung pada bahan bakar fosil. Faktor pendorong konsumsi bahan bakar fosil yang makin tinggi dapat dilihat dari banyaknya penggunaan mesin industri dan transportasi penunjang perekonomian dunia yang menggunakan minyak bumi sebagai bahan bakar penggerakannya. Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang menghadapi persoalan energi yang serius akibat ketergantungan yang sangat besar terhadap bahan bakar fosil. Pengembangan energi alternatif masih kurang mendapat perhatian, sementara Indonesia memiliki potensi untuk melakukan pengembangan energi alternatif. Sebagai contoh, dengan memanfaatkan limbah biomassa yang sangat melimpah dari sektor pertanian dan peternakan untuk dijadikan bio energi.

Biogas merupakan salah satu bahan bakar non fosil bersifat renewable (dapat diperbaharui) yang dapat dijadikan bio energi alternatif. Biogas diperoleh dari proses fermentasi biomassa yang mengandung karbohidrat dengan bantuan mikroorganisme. Kandungan utama biogas yang berfungsi sebagai bahan bakar (biofuel) adalah gas metana ( $\text{CH}_4$ ) atau disebut bio metana. Hasil fermentasi menunjukkan bahwa gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dalam biogas yang terbentuk memiliki konsentrasi yang hampir sama dengan konsentrasi gas metana yaitu 50 – 75 %, gas  $\text{CH}_4$  yaitu 25 – 50 % gas  $\text{CO}_2$ ,

nitrogen ( $\text{N}_2$ ) 0,5 – 3 %, karbon monoksida ( $\text{CO}$ ) 0 %, oksigen ( $\text{O}_2$ ) 0,1 % dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) sedikit sekali, (Hambali, 2007).

Gas  $\text{CO}_2$  dalam reaksi pembakaran memiliki karakteristik dapat menurunkan nilai kalor pembakaran, sehingga adanya gas  $\text{CO}_2$  dalam biogas menjadi masalah utama dalam pemanfaatan biogas sebagai biofuel. Oleh karena itu, perlu adanya perlakuan lanjutan (*post treatment*) setelah biogas diproduksi yaitu berupa pemisahan gas  $\text{CO}_2$  dari kandungan biogas.

### Pemurnian Biogas

Kendala dalam mengaplikasikan biogas sebagai bahan bakar non fosil yaitu tingginya kandungan gas  $\text{CO}_2$  dalam biogas sehingga diperlukan proses pemurnian. Salah satu cara pemurniannya dapat dilakukan dengan cara adsorpsi. Adsorpsi termasuk salah satu sifat dasar benda, dimana benda mempunyai gaya tarik antar molekul. Adsorpsi terdiri dari 2 macam proses, yaitu :

#### Adsorpsi fisik

Adsorpsi fisik merupakan adsorpsi dimana gas terlarut dalam cairan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik yaitu proses perpindahan massa yang terjadi antara gas yang di adsorpsi dan larutan pengadsorpsi, proses tersebut karna gaya *van der waals*. Berdasarkan interaksi molekuler antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu penyerapan secara fisika (adsorpsi) dan penyerapan secara kimia (absorpsi).

Proses adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga membentuk lapisan sama (*multilayers*) pada permukaan adsorben.

#### Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai dengan reaksi kimia, contoh adsorpsi ini adalah adsorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan larutan NaOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, dan sebagainya. Aplikasi dari adsorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas CO<sub>2</sub> pada pabrik amonia. Penyerapan ini terjadi karena adanya proses perpindahan massa yang terjadi antara gas yang di adsorpsi dan larutan pengadsorpsi yang disertai dengan reaksi kimia.

### Proses Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Selama terdapat perbedaan temperatur maka perpindahan panas masih akan terjadi. Perpindahan panas dapat dibedakan menjadi 3 hal yaitu:

#### 1. Konduksi

Perpindahan panas yang terjadi pada gradien temperatur yang terdapat dalam medium yang diam, baik itu benda padat maupun benda cair (fluida) persamaan dapat dituliskan :

$$q_x = -kx \frac{dt}{dx}$$

#### 2. Konveksi

Perpindahan panas yang terjadi karena perbedaan temperatur antara medium yang bergerak dengan satu permukaan yang dilewatinya. Tanpa memperharikan mekanismenya, persamaan laju perpindahan panas konveksi dinyatakan dalam bentuk :

$$q = \bar{h} \times A_s \times (T_s - T_\infty)$$

#### 3. Radiasi

Radiasi thermal adalah energi yang diemisikan oleh suatu benda yang berada pada temperatur hingga energi radiasi dari permukaan benda padat, cair, maupun gas. Emisi radiasi dapat diketahui dengan adanya perubahan dalam konfigurasi elektron dan atom atau molekul. Lebih lanjut energi dan medan radiasi ditransportasikan oleh gelombang elektromagnetik yang

berasal dari energi dalam material yang memancar, perbedaan utama antara perpindahan radiasi dengan perpindahan panas konduksi dan perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media material.

Adapun radiasi thermal dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = \sigma \times A_s \times \varepsilon (T_s^4 - T_\infty^4)$$

Dimana:

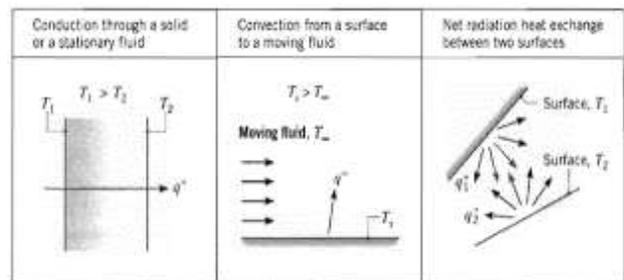
$\varepsilon$  = emisivitas gas panas (black body)

$\sigma$  = konstanta blotzman =  $5,67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>.K

$A_s$  = luasan penampang (m<sup>2</sup>)

$T_s$  = suhu udara infinity (°K)

$T_\infty$  = suhu udara sekeliling (°K)



Gambar1. proses perpindahan panas

Penjelasan lebih lanjut tentang perpindahan panas radiasi dapat digambarkan dengan dua bodi yang mempunyai temperatur (T<sub>1</sub>) dan (T<sub>2</sub>) berbentuk sembarang. Dua bodi tersebut mengemisikan aliran-aliran dari radiasi thermal pada seluruh arah. Setiap titik (elemen luas) dari setiap bodi mengemisikan radiasi ke segala arah. Hanya sebuah fraksi dari aliran emisi oleh (T<sub>1</sub>) yang diterima dan diserap oleh bodi (T<sub>2</sub>) fraksi ini tergantung tidak hanya pada bentuk dan ukuran dari dua bodi tersebut melainkan tergantung pula terhadap posisi relative, yaitu kondisi permukaan bodi (seperti kekasaran, kebersihannya) dan juga tergantung dari sekelilingnya.

Dengan demikian masalah perpindahan panas mengurangi pada perhitungan :

1. Laju perpindahan radiasi panas yang meninggalkan permukaan bodi (yaitu radiasi diemisikan oleh permukaan, ditambah bagian radiasi yang direfleksikan)
2. Laju perpindahan radiasi panas yang mengenai permukaan (yaitu bagian radiasi yang diserap oleh permukaan)

### Persiapan Dan Perancangan Alat Penelitian

Hal utama yang perlu disiapkan adalah biogas dari biodigester yaitu memastikan bahwa biogas sudah tersedia dalam penampungan biogas dari digester. Jika tekanan biogas dalam digester dirasa kurang perlu adanya penambahan kotoran sapi dengan campuran air hingga menjadi slury dan kemudian dimasukan kedalam digester.

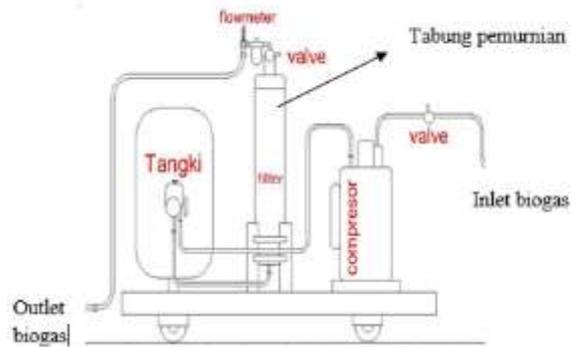
### Alat dan Bahan

Adapun beberapa alat yang dirancang untuk alat penelitian adalah sebagai berikut :

1. Kompresor
  - 1 unit kompresor AC ½ pk untuk mengambil biogas dari digester dan membuat tekanan biogas.
  - 1 tabung refrigen untuk menyimpan biogas dengan tekanan dari kompresor.
  - 1 unit pressure switch.
  - 1 unit valve pressure untuk mengatur tekanan keluarannya biogas.
  - Beberapa Aksesoris seperti, valve ukuran 1/4, soket ulir luar dan dalam ukuran 1/4, elboy, klem selang, dan lain-lain.
  - Selang LPG 1,5 meter dan selang kompresor 2 meter untuk menyalurkan biogas ke tabung pemurnian dan kompor.
  - Manometer 2 buah.
  - Flow meter untuk mengatur laju aliran biogas.
  - Kanal U ukuran 30x55x30x3 mm untuk pondasi kompresor, tabung pempung gas, dan tabung pemurnian.

2. Tabung Pemurnian
  - Pipa paralon tipe AW ukuran 3 in x 450 mm untuk tabung adsorben.
  - Perlengkapan untuk tabung adsorben seperti, over shock 3x1 inchi, dan soket 1 inchi.
  - Zeolit alam dan besi oksida dengan perbandingan 2:1 dari volume tabung pemurnian.

### Desain alat penelitian



Gambar2. rangkain kompresor dan tabung pemurnian



Gambar3. Rangkain alat penelitian

### Alat bantu yang digunakan

1. Kompor biogas
2. pemegang termokopel
3. Sensor Termokopel
4. Rangkaian ADC (ardiuno chanel) dan amplifier.
5. Laptop
6. Stopwatch
7. Thermometer

### Pengambilan Data

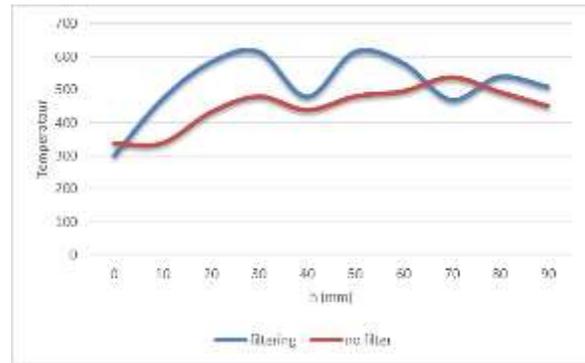
Pengambilan data dilakukan dengan mengukur temperatur api biogas pada setiap ketinggian api. Adapun prosedur pengambilan data temperatur api pada setiap ketinggian adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran temperatur api dimulai dari ujung burner kompor.
2. Memastikan termokopel menyentuh badan api.
3. Pengambilan data temperatur api dilakukan selama 25 detik dimulai saat sistem akuisi data sudah memulai menampilkan data pada komputer.
4. Pengambilan data temperatur api pada tiap ketinggian dilakukan pada tiap ketinggian 10 mm (termokopel dinaikan tiap 10 mm).
5. Pengambilan data dilakukan sampai termokopel menyentuh ujung api.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

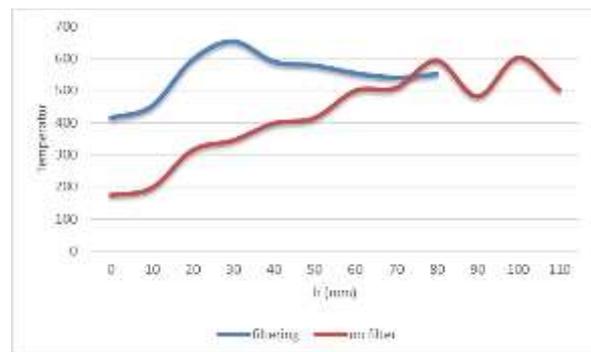
Penelitian terhadap biogas tanpa pemurnian dan setelah pemurnian dilakukan dengan mengukur temperatur api pada tiap-tiap ketinggian api dari pengaruh tekanan biogas dengan variasi laju aliran konstan. Setelah pengambilan data selesai dilakukan analisa dan perhitungan dari data masing-masing tekanan dan laju aliran biogas.

pengukuran temperatur api biogas tanpa pemurnian dan setelah pemurnian pada tiap-tiap ketinggian diambil data dari tekanan biogas 20 psi dengan laju aliran 3 lpm mendapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 4. grafik perbandingan temperatur api biogas setelah pemurnian dan tanpa pemurnian dengan tekanan biogas 20 psi dan laju aliran 3 lpm.

pengukuran temperatur api biogas tanpa pemurnian dan setelah pemurnian pada tiap-tiap ketinggian diambil data dari tekanan biogas 30 psi dengan laju aliran 3 lpm mendapatkan hasil sebagai berikut :



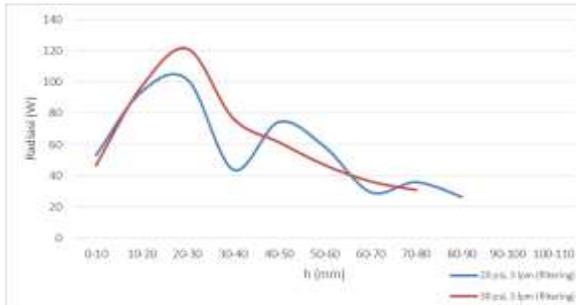
Gambar 5. grafik perbandingan temperatur api biogas setelah pemurnian dan tanpa pemurnian dengan tekanan biogas 20 psi dan laju aliran 3 lpm.

Untuk perbandingan hasil perhitungan analisa perpindahan panas secara radiasi pada api biogas setelah pemurnian dengan tekanan biogas 20 psi dan 30 psi dan laju aliran 3 lpm ditunjukkan pada tabel 1.

Untuk perbandingan hasil perhitungan analisa perpindahan panas secara radiasi pada api biogas setelah pemurnian dan sebelum pemurnian dengan tekanan biogas 20 psi dan 30 psi dan laju aliran 3 lpm ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1. Perpindahan panas secara radiasi api biogas setelah pemurnian dengan tekanan biogas 20 psi dan 30 psi dengan laju aliran 3 lpm.

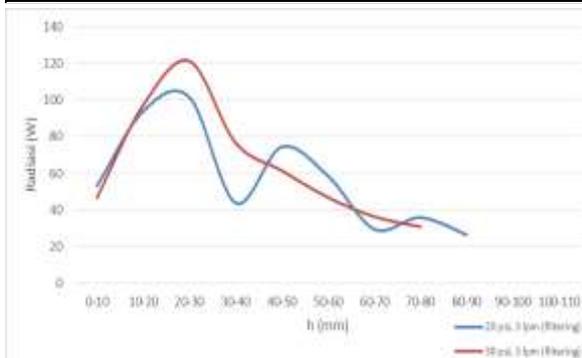
h (mm)	20 psi, 3 lpm (filtering)	30 psi, 3 lpm (filtering)
0-10	53,1	46,72
10-20	94,04	97,28
20-30	101,5	121,28
30-40	43,85	76,64
40-50	74,51	61,46
50-60	58,42	46,78
60-70	29,48	36,35
70-80	35,83	30,8
80-90	26,32	
90-100		
100-110		



Gambar 6. grafik perbandingan perpindahan panas radiasi api biogas setelah pemurnian dengan tekanan biogas 20 psi dan 30 psi dengan laju aliran 3 lpm.

Tabel 2. perpindahan panas secara radiasi api biogas setelah pemurnian dan tanpa pemurnian dengan tekanan biogas 20 psi dan laju aliran 3 lpm.

h (mm)	20 psi, 3 lpm (filtering)	20 psi, 3 lpm (no-filter)
	Q (w)	Q (w)
0-10	53,1	52,13
10-20	94,04	41,34
20-30	101,5	48,88
30-40	43,85	36,25
40-50	74,51	41,24
50-60	58,42	41,91
60-70	29,48	48,12
70-80	35,83	34,97
80-90	26,32	25,58
90-100		
100-110		



Gambar 7. Grafik perbandingan perpindahan panas radiasi api biogas setelah pemurnian dan tanpa pemurnian dengan tekanan biogas 20 psi dan laju aliran 3 lpm.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada tekanan 30 psi pada proses pemurnian menghasilkan radiasi api lebih tinggi yaitu 517,34 W pada laju aliran biogas 3 lpm dan pada ketinggian api 0 – 80 mm sedangkan pada tekanan 20 psi menghasilkan radiasi api 490,77 W pada ketinggian api 0 – 80 mm.
2. Biogas setelah proses pemurnian menghasilkan radiasi api yang lebih tinggi dibandingkan tanpa pemurnian yaitu 517,09 W pada tekanan 20 psi dengan laju aliran 3 lpm dan pada ketinggian api 0 – 90 mm sedangkan biogas tanpa pemurnian hanya 370,46 W pada tekanan 20 psi dengan laju aliran 3 lpm dan pada ketinggian api 0 – 90 mm.
3. Dari hasil yang didapat menunjukkan bahwa proses pemurnian biogas dapat meningkatkan temperatur dan radiasi api biogas.
4. Semakin tinggi tekanan pada proses pemurnian maka semakin baik proses pemurniannya.

## SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan penulis memberikan saran pada penelitian yang akan datang perlu dilakukan :

1. Diperlukan pengembang alat pembaca temperatur/thermocouple dan software, agar pengambilan data temperatur lebih stabil dan terjaga koneksi pembacaan datanya.
2. Mengembangkan sistem pemurnian dengan menambah zat lain yang mampu membantu pemurnian biogas itu sendiri atau memodifikasi volume tabung pemurnian agar lebih maksimal lagi proses pemurniannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Sridiyanti., 2014. **“Pengertian Energi Biogas”**.  
<http://www.sridianti.com/pengertian-energi-biogas.html>. Akses: 14 juni 2018.
- Eny, Apriyanti., 2011. **“Pengertian Biogas Dan Pemurnian Biogas”**.  
<http://www.google.com/tinjauan-pustaka-pemurnian-biogas.html>. Akses: 14 juli 2018.
- Holman, J. P., and Jasiġie, E., **“Perpindahan Kalor Edisi Ke-6”**, Erlangga, Jakarta, 1986.
- Bejan, A., and Kraus, A. D., **“Heat Transfer Handbook”**, John Wiley & Son.inc, New Jersey, 2003.
- Muhammad, Dienullah., **“Pemurnian Biogas Dengan Sistem Berlapis Menggunakan Fe<sub>2</sub>O, Zeolit Sinetik Dan Zeolit Alam”**, Tugas Akhir S1 Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, 2017.
- Romi, Sujatmoko., **“Studi Eksperimental Distribusi Temperatur Api Laminar Dan Perhitungan Daya Kompor Gas Subsidi Pemerintah”**, Tugas Akhir S1 Universitas 17 Agustus 1945, Surabaya, 2009.
- Yanti, S., **“Pemurnian Biogas Untuk Meningkatkan Nilai Kalor Melalui Adsorpsi Dua Tahap Susunan Seri Dengan Media Karbon Aktif”**, Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2016.
- Nurkholis, Hamidi., **“Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam”**, Tugas Akhir S1 Universitas Brawijaya, Malang, 2011.