

## PENGARUH KOMPOSISI AIR TERHADAP KEBUTUHAN DAYA KOMPRESOR PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK BIOGAS DARI LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Moch Fatichuddin<sup>1\*</sup> dan Nazaruddin Sinaga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jalan Prof. H. Soedharto, S.H. Tembalang Semarang 50275

\*E-mail: fatih1897@gmail.com

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi air dalam proses digestasi terhadap kebutuhan kompresor yang digunakan untuk proses scrubbing. Variasi pada debit air di dalam digester digunakan pada rentan 1-10 ton/jam, dan pada kompresor dibuat variasi tekanan antara 9-12 bar. Kondisi temperatur dibedakan pada kondisi mesopilik dan termopilik. Pada saat kondisi mesopilik, temperatur dalam ruang digester sebesar 37 °C, dan saat kondisi termopilik, temperaturnya sebesar 55 °C. EFB digunakan sebagai material utama dalam simulasi produksi biogas ini. Jumlah EFB yang masuk ke digester sebesar 1 ton/jam, dan simulasi yang dilakukan untuk proses digestasi anaerobik menggunakan metode stoikiometri. Daya kompresor didapatkan setelah dilakukan variasi debit air, kondisi temperatur, dan tekanan kompresor, dihitung dalam satuan kW. Kebutuhan daya terbesar pada temperatur mesopilik adalah pada saat komposisi debit air 5 ton/jam dan tekanan kompresor 12 bar, dengan besar daya sebesar 50,9 kW, dan kebutuhan daya terkecil terjadi ketika komposisi debit air 1 ton/jam dan tekanan kompresor 9 bar, sebesar 42,36 kW. Kebutuhan daya terbesar pada temperatur termopilik terjadi pada debit air 5 ton/jam dan tekanan kompresor 12 bar, sebesar 39,23 kW. Produksi biogas terbaik terjadi debit air 1 ton/jam dan tekanan kompresor 12 bar. Pada kondisi ini, untuk temperatur mesopilik dan termopilik membutuhkan daya sebesar 49,39 dan 37,19 kW.

**Kata kunci:** Biogas, Compressor, EFB, Scrubber

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat, tetapi persediaan energi masih belum bisa mengimbangi kebutuhan energi di Indonesia. Kebutuhan energi di Indonesia berasal dari sektor industri, transportasi, maupun komersial (Anindhita dkk., 2015)

Data kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2013, penggunaan energi terbesar adalah sektor industri (37,17 %), kemudian diikuti sektor rumah tangga (29,43 %), transportasi (28,10 %), dan sisanya berasal dari sektor komersial dan lainnya.

Kebutuhan energi saat ini masih bergantung pada sumber energi fosil. Salah satu faktor tingginya kebutuhan energi di sektor industri dan transportasi disebabkan karena teknologi dari kedua sektor ini yang masih menggunakan teknologi lama yang memiliki efisiensi kerja masih kecil, termasuk ketergantungan sumber bahan bakar dari kedua sektor ini yang masih banyak menggunakan energi fosil. Penyebabnya, ketergantungan akan energi fosil sangat besar, padahal energi ini bersifat tidak terbarukan dan suatu saat akan habis, dan juga energi ini lebih

bersifat merusak lingkungan karena gas buangnya yang dapat mengakibatkan polusi lingkungan, efek gas rumah kaca, maupun mengakibatkan pemanasan global, dan hujan asam (Anindhita dkk., 2015).

Dari kasus ini, penggunaan energi terbarukan sangat dibutuhkan, karena selain dapat menambah kebutuhan energi nasional, juga dapat menjadi bahan bakar yang ramah lingkungan sekaligus melepaskan ketergantungan akan bahan bakar fosil yang bersifat tidak terbarukan. Dalam penelitian ini, penggunaan biogas dari limbah tandan kosong kelapa sawit dirasakan dapat menjadi salah satu alternatif pemanfaatan dan solusi dalam memenuhi kebutuhan energi di Indonesia.

Indonesia merupakan salah satu penghasil kelapa sawit di dunia. Rata-rata setiap tahunnya hampir 25 juta ton buah kelapa sawit dihasilkan, dan hanya beberapa persen saja yang diolah ke dalam pabrik CPO, dan sisanya menjadi limbah. Limbah kelapa sawit ini masih banyak yang belum dimanfaatkan dengan baik, dan sisanya dibuang ke alam. Salah satu manfaat limbah kelapa sawit ini digunakan sebagai sumber bahan bakar energi baru terbarukan, baik limbah padat maupun limbah cair. Energi terbarukan yang

dimaksud dapat berupa biogas, biomassa, dan bioetanol. Untuk pemanfaatan biogas ini dapat berasal dari limbah padat sawit, yaitu berupa tandan kosong / EFB (*empty fruit bunches*). Biogas dari tandan kosong ini dirasa sangat baik, karena selain menjadi sumber bahan bakar yang bersifat terbarukan, bahan bakar ini juga ramah lingkungan yang dapat mengurangi polusi udara, efek rumah kaca, dan pencemaran lingkungan lainnya. Sumber bahan bakar ini dapat mengurangi polusi dari sampah organik yang tidak dimanfaatkan dan menyebabkan polusi lingkungan, dan juga dapat diproduksi kapan saja karena sumber sampah organik ini dapat ditemukan dimana saja (Geng, 2013).

Salah satu faktor yang mempengaruhi baik buruknya produksi listrik ini adalah komponen metana dan karbondioksida di dalam biogas. Semakin besar metana, maka pembakaran pada mesin gas akan semakin baik, dan semakin besar karbondioksida, maka akan menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna. Cara yang digunakan dalam menyisihkan karbondioksida adalah dengan cara absorpsi menggunakan sistem *scrubber*, dimana dalam prosesnya jumlah fraksi massa metana dapat meningkat hingga 80-95 % tergantung dari besar tekanan dan komposisi air yang masuk ke *scrubber* (Dabrowski dkk., 2009). Salah satu cara untuk meningkatkan tekanan gas hasil digestasi adalah dengan bantuan kompresor, di dalam kompresor ini membutuhkan total daya untuk menggerakkan mesin kompresor. Dalam penelitian ini, akan dilihat pengaruh dari komposisi air yang masuk ke digester dan variasi tekanan di dalam kompresor, terhadap daya mesin kompresor dalam satuan kilowatt, sehingga akan diketahui pengaruh komposisi air dalam digester terhadap produksi biogas dan kebutuhan kerja dari mesin kompresor.

### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi air dalam proses digestasi terhadap kebutuhan daya kompresor yang digunakan dalam proses pemurnian menggunakan *water scrubbing*. Dari variasi ini akan diperoleh variasi besar daya kompresor dalam setiap komposisi air dan tekanan kompresor yang berbeda-beda, dibedakan ke dalam temperatur mesopilik (37 °C) dan termopilik (55 °C).

Dari penelitian ini akan diketahui kondisi komposisi air yang membutuhkan daya kompresor terbesar, dan terkecil, dan juga besar

daya ketika diambil komposisi air dan EFB terbaik untuk memproduksi biogas.

### Tinjauan Pustaka

EFB memiliki struktur utama berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selain itu dalam setiap EFB mengandung karbondioksida dan hidrogen, dimana senyawa ini mempengaruhi komposisi produksi gas dan konversi termokimia. Mempunyai kandungan sulfur yang rendah sehingga H<sub>2</sub>S yang dihasilkan tidak besar.

Dalam pensimulasian digunakan persamaan buswell dalam proses pemecahan komposisi kimia. Persamaan Buswell merupakan persamaan perhitungan biogas dengan komposisi tertentu dibentuk menjadi komposisi kimia CcHhOoNnSs. Persamaan ini digunakan untuk memperkirakan pemecahan proses anaerobik dari bahan organik. Dalam persamaan ini menghasilkan besar CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, dan H<sub>2</sub>S sesuai dengan besar CcHhOoNnSs (Wukovits, 2013).

Salah satu cara dalam proses pemurnian gas dengan cara *water scrubbing*. Proses ini menggunakan air sebagai media penyerapan fisik. Karbondioksida dan hidrogen sulfida merupakan senyawa yang paling banyak terserap, hal ini tergantung oleh *scrubber*, tekanan, komposisi biogas, laju aliran, dan derajat kelarutan (Dabrowski dkk., 2009).

Kompresor adalah mesin untuk memampatkan udara atau gas. Kompresor udara biasanya mengisap udara pada atmosfer, namun ada pula yang mengisap udara atau gas yang bertekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer (Sularso dkk., 2014). Daya yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor dapat dihitung dengan cara mengalikan debit udara yang keluar setelah dikalikan dengan efisiensinya dengan daya adiabatik teoritis.

$$L_{ad} = Q_s \times L_{teoritis} \quad (2.1)$$

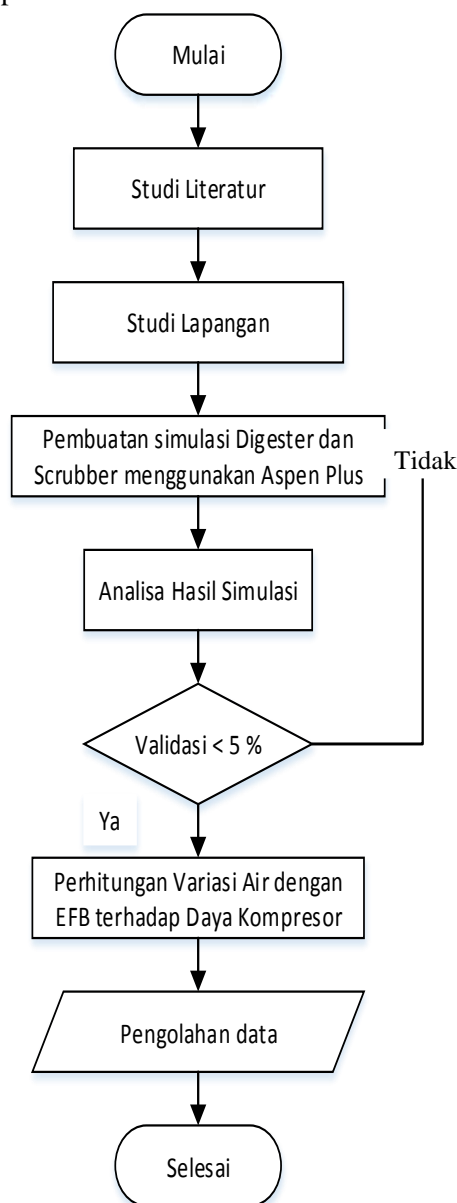
Dimana  $L_{ad}$  merupakan Daya yang diperlukan kompresor,  $Q_s$  merupakan volum udara keluar, dan  $L_{teoritis}$  adalah daya teoritis.

### METODOLOGI PENELITIAN

#### Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* Aspen Plus V.8.6. Gambar 2.1 menunjukkan diagram alir metode penelitian yang dilakukan untuk mensimulasikan produksi biogas, dan pengaruh variasi komposisi

air terhadap produksi dan kebutuhan daya mesin kompresor.



**Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian**

### Simulasi Pemodelan Biogas dan Pembangkit

Pemodelan ini menggunakan model stoikiometri dengan metode buswell, dimana proses digestasi dari hidrolisis, acidogenesis, acetogenesis, dan metanogenesis telah dijadikan dalam satu persamaan reaksi dari sampah tandan kosong.

Simulasi dibagi menjadi tahap penentuan komponen, dan pensimulasian. Penentuan komponen berisi tentang komponen-komponen yang akan dimasukkan dalam penelitian, baik kandungan limbah maupun senyawa kimia yang akan direaksikan. Pensimulasian berisi gambar

model dari produksi biogas dan parameter-parameter yang akan dimasukkan.

#### 1. Penentuan Komponen

Komponen yang akan dimasukkan berupa kandungan di dalam tandan kosong, yaitu selulosa ( $C_6H_{10}O_5$ ), hemiselulosa ( $C_5H_8O_4$ ), dan lignin ( $C_9H_{10}O_2$ ), serta sisanya berupa protein ( $C_{13}H_{25}O_7N_3S$ ). Kemudian terdapat unsur kimia lain untuk direaksikan berupa air ( $H_2O$ ), dan menghasilkan senyawa metana ( $CH_4$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ), hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), dan natrium hidroksida ( $H_2S$ ).

Tabel 2.1 menunjukkan komposisi dari limbah tandan kosong kelapa sawit, yaitu berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kemudian komposisi sisanya berupa protein.

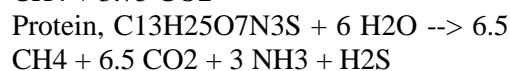
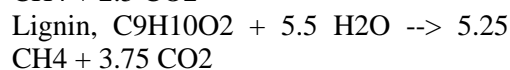
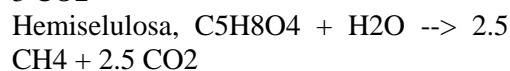
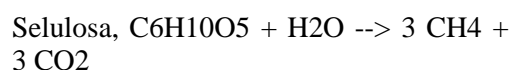
**Tabel 2.1 Analisa Elemen Tandan Kosong**

Komponen	Nilai
Selulosa	59,7
Hemiselulosa	22,1
Lignin	18,1

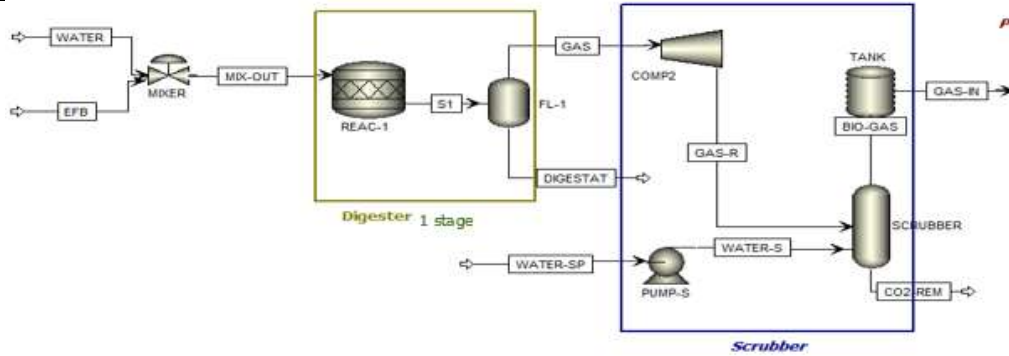
(Abdullah et. all 2011)

#### 2. Pensimulasian

Pensimulasian dibagi menjadi dua bagian, yaitu pada digester, dan *scrubber*. Temperatur yang digunakan adalah pada kondisi mesopilik ( $37^\circ C$ ) dan termopilik ( $55^\circ C$ ), dengan tekanan 1 bar. Jumlah limbah tandan kosong sebesar 1 ton/jam, dan komposisi air divariasikan antara 1-10 ton/jam dengan jumlah 10 variasi.



Untuk *scrubber* ada tiga parameter utama, yaitu komposisi air, tekanan, dan jumlah *stage*. Jumlah air yang masuk ke *scrubber* sebesar 15 ton/jam, dengan jumlah *stage* 3, dan tekanan antara 9-12 bar. Ada satu komponen pada *scrubber* yang akan dilakukan analisa, yaitu kompresor, analisa tersebut didasarkan pada komposisi air dengan limbah tandan kosong, dan tekanan pada kompresor. Gambar 2.2 di bawah ini menunjukkan *flowsheet* simulasi produksi biogas.



Gambar 2.2 Simulasi Produksi Biogas

**HASIL**

**Data Pengujian**

Dalam setiap variasi yang dilakukan pada komposisi air yang masuk ke dalam digester dan tekanan di dalam kompresor, akan didapatkan pengaruh terhadap daya kompresor. Tabel 3.1 menunjukkan besar produksi metana setelah dilakukan variasi debit air. Produksi metana terbaik adalah saat variasi air yang masuk ke digester sebesar 1 ton/jam, dengan besar laju massa 4397,66 m<sup>3</sup>/hari.

**Tabel 3.1 Pengaruh Komposisi Air terhadap laju massa pada Temperatur Mesopilik**

Komposisi Air (kg/jam)	Laju Massa (m <sup>3</sup> /hari)	
	CH4	CO2
1000	4397.66	8911.35
2000	4395.30	9292.07
3000	4393.04	9513.46
4000	4390.77	9593.51
5000	4388.46	9602.83
6000	4386.13	9576.09
7000	4383.77	9529.52
8000	4381.39	9471.27
9000	4378.99	9405.80
10000	4376.58	9335.70

Tabel 3.2 menunjukkan besar daya kompresor setelah dilakukan variasi komposisi air dengan tandang kosong dalam satuan kilowatt.

**Tabel 3.2 Pengaruh Variasi air digester terhadap daya kompresor pada tekanan 11-12 bar pada Temperatur Digester Mesopilik**

Komposisi Air (kg/jam)	Daya (kW)			
	11	11,3	11,7	12
1000	47,22	47,96	48,68	49,39
2000	48,01	48,76	49,49	50,21
3000	48,49	49,25	49,99	50,71
4000	48,66	49,42	50,16	50,89
5000	48,67	49,43	50,18	50,90

6000	48,60	49,36	50,10	50,83
7000	48,48	49,24	49,98	50,70
8000	48,34	49,10	49,83	50,55
9000	48,18	48,93	49,67	50,39
10000	48,01	48,76	49,49	50,21

Besar daya terbesar sebesar 50,21 kW, yaitu pada jumlah air digester 10 ton/jam dengan kondisi tekanan kompresor 12 bar. Daya terkecil sebesar 42,36 kW, yaitu pada jumlah air digester 1 ton/jam dengan kondisi tekanan kompresor 9 bar. Pemurnian untuk mendapatkan fraksi terbaik yaitu pada kondisi tekanan 12 bar. Untuk kondisi ini, daya kompresor untuk produksi metana terbaik sebesar 49,39 kW.

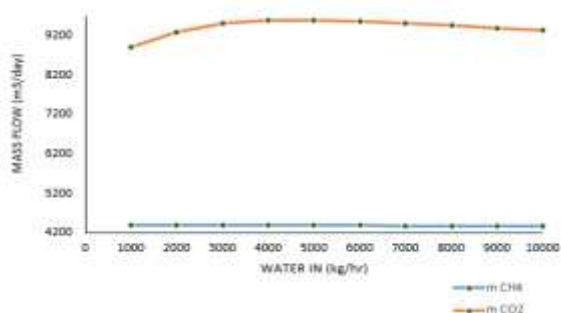
**PEMBAHASAN**

**Produksi Biogas**

Dari data yang diperoleh, dibuat grafik sehingga diketahui pengaruh komposisi jumlah air pada digester terhadap produksi biogas, dan kebutuhan kerja untuk digunakan pada kompresor.

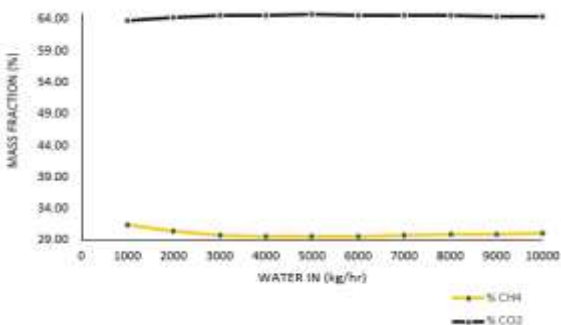
**Temperatur Mesopilik**

Pada gambar 3.1 di bawah ini, laju massa metana dalam biogas pada temperatur mesopilik diperoleh nilai terbesar pada jumlah air 1 ton/jam sebesar 4397,66 m<sup>3</sup>/hari, dan nilai terkecilnya diperoleh pada komposisi air 10 ton/jam dengan besar 4376,58 m<sup>3</sup>/hari. Untuk laju massa karbondioksida dalam biogas membentuk grafik polinomial, dengan titik puncaknya pada jumlah air 5 ton/jam sebesar 9602,83 m<sup>3</sup>/hari, dan laju massa karbondioksida terkecil terjadi pada saat komposisi air 1 ton/jam sebesar 8911,35 m<sup>3</sup>/hari.



**Gambar 3.1** Grafik laju massa metana dan karbondioksida terhadap komposisi air pada temperatur mesopilik

Pada gambar 3.2 di atas, fraksi massa dipengaruhi oleh jumlah komposisi air yang ada di digester. Untuk fraksi massa metana terbesar terjadi pada saat komposisi air 1 ton/jam sebesar 31,52 %, dan untuk fraksi massa metana terkecil pada saat komposisi air 5 ton/jam sebesar 29,59 %. Untuk fraksi massa karbondioksida membentuk grafik polinomial, dengan fraksi massa karbondioksida terbesar pada komposisi air 5 ton/jam sebesar 64,74 %, dan untuk fraksi massa karbondioksida terkecil pada komposisi air 1 ton/jam sebesar 63,87 %.

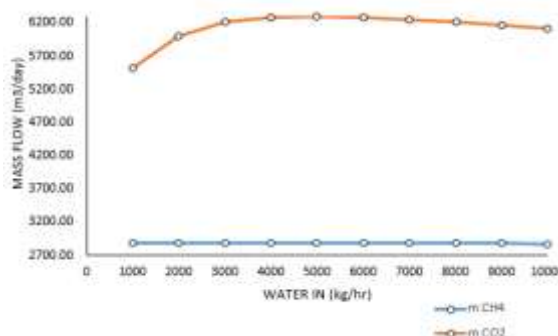


**Gambar 3.2** Grafik persen fraksi massa metana dan karbondioksida temperatur mesopilik

Untuk mendapat biogas terbaik, harus memiliki kandungan metana besar, dan karbondioksida kecil. Kondisi ini terjadi pada saat komposisi air 1 ton/jam. Besar laju massa metana dan karbondioksida pada temperatur mesopilik sebesar 4397,66 m<sup>3</sup>/hari dan 8911,35 m<sup>3</sup>/hari. Sedangkan persen fraksi massa untuk metana dan karbondioksida sebesar 31,52 % dan 63,87 %.

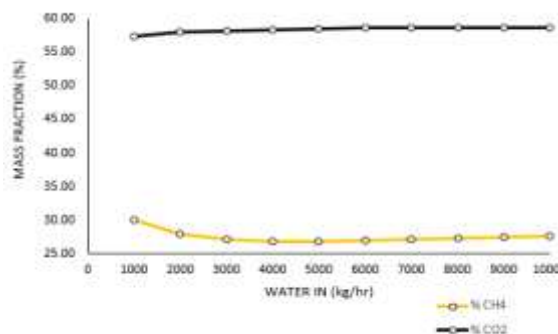
**Temperatur Termopilik**

Pada temperatur termopilik, laju massa metana dan karbondioksida terbesar, ditunjukkan pada gambar 3.3 di bawah, sebesar 2892, 37 m<sup>3</sup>/hari dan 6292,84 m<sup>3</sup>/hari. Sedangkan laju massa metana dan karbondioksida terendah sebesar 2876,12 m<sup>3</sup>/hari dan 5519,36 m<sup>3</sup>/hari.



**Gambar 3.3** Grafik laju massa metana dan karbondioksida terhadap komposisi air pada temperatur termopilik

Pada gambar 3.4 di bawah ini, besar fraksi massa metana dan karbondioksida terbesar yaitu sebesar 30,07 % dan 58,71 %. Sedangkan besar fraksi massa metana dan karbondioksida terkecil sebesar 26,84 % dan 57,39 %.



**Gambar 3.4** Grafik persen fraksi massa metana dan karbondioksida temperatur termopilik

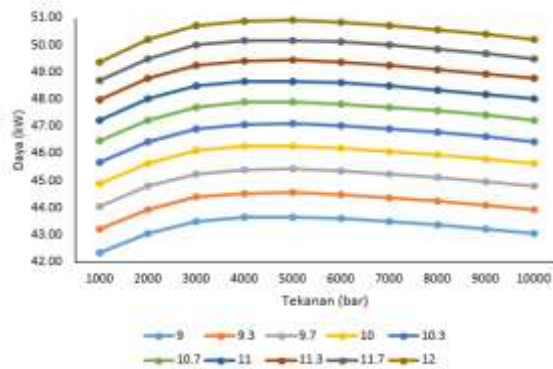
Produksi biogas terbaik terjadi pada besar laju massa metana dan karbondioksida sebesar 2892, 37 m<sup>3</sup>/hari dan 5519,36 m<sup>3</sup>/hari. Sedangkan persen fraksi massa untuk metana dan karbondioksida sebesar 30,07 % dan 57,39 %.

**Daya Kompresor**

Untuk kerja yang dibutuhkan pada kompresor tergantung pada komposisi air di digester dan tekanan pada kompresor.

**Temperatur Mesopilik**

Gambar 3.3 menunjukkan pengaruh komposisi air dan tekanan terhadap kebutuhan kerja kompresor pada temperatur mesopilik. Kebutuhan daya terbesar terjadi pada kondisi komposisi air 5 ton/jam dan tekanan kompresor 12 bar, sebesar 50,9 kW. Untuk daya terkecil terjadi pada kondisi komposisi air 1 ton/jam dan tekanan kompresor 9 bar, sebesar 42,36 kW.

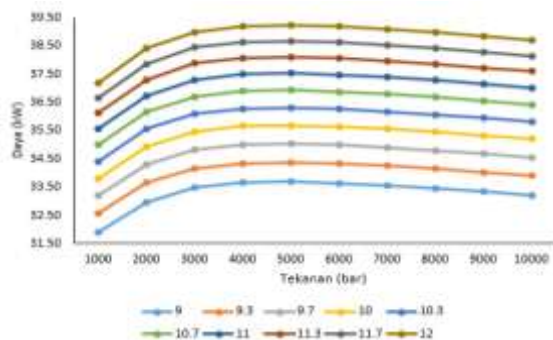


**Gambar 3.3 Grafik pengaruh komposisi air di digester terhadap kebutuhan daya kompresor temperatur mesopilik**

Untuk produksi biogas terbaik dan pemurnian secara maksimal pada temperatur termopilik berada pada komposisi air 1 ton/jam dan tekanan 12 bar, sebesar 12 bar, sebesar 49,39 dan kW.

**Temperatur Termopilik**

Pada temperatur digester termopilik, daya kompresor terbesar terjadi pada saat debit air 5 ton/jam dan tekanan 12 bar, sebesar 39,23 kW. Sedangkan daya terkecil terjadi pada saat debit air 1 ton/jam dan tekanan 9 bar, sebesar 31,91 kW. Hal ini ditunjukkan pada gambar 3.6 di bawah ini.



**Gambar 3.3 Grafik pengaruh komposisi air di digester terhadap kebutuhan daya kompresor temperatur termopilik**

Untuk produksi biogas optimal terjadi pada saat debit air 1 ton/jam dan tekanan 12 bar, dan diperoleh daya kompresor pada temperatur termopilik sebesar 37,19 kW.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan pengambilan data simulasi pengaruh komposisi air di digester terhadap daya yang dibutuhkan kompresor, dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya:

- Besar laju air yang masuk ke digester berpengaruh pada produksi biogas dan kebutuhan kerja kompresor.
- Untuk diperoleh biogas yang paling baik, jumlah metana harus tinggi dan karbondioksida kecil. Kondisi ini terjadi pada kondisi komposisi air 1 ton/jam.
- Produksi biogas pada temperatur mesopilik, laju massa metana dan karbondioksida sebesar 4397,66 m<sup>3</sup>/hari dan 8911,35 m<sup>3</sup>/hari, dengan fraksi massa sebesar 31,52 % dan 63,87 %.
- Produksi biogas terbaik pada temperatur termopilik, laju massa metan dan karbondioksida sebesar 2892, 37 m<sup>3</sup>/hari dan 5519,36 m<sup>3</sup>/hari, dengan besar fraksi massa sebesar 30,07 % dan 57,39 %.
- Komposisi air untuk daya kompresor terbesar terjadi pada saat komposisi air digester 5 ton/jam dan tekanan kompresor 12 bar. Daya kompresor terbesar pada temperatur mesopilik dan termopilik sebesar 50,9 kW dan 39,23 kW.
- Sedangkan untuk daya kompresor terkecil terjadi pada saat komposisi air digester 1 ton/jam dan tekanan kompresor 9 bar. Daya kompresor pada temperatur mesopilik dan termopilik sebesar 42,36 kW dan 31,91 kW.
- Agar didapatkan biogas terbaik, berada pada kondisi komposisi air digester 1 ton/jam dan tekanan kompresor 12 bar. Daya kompresor pada temperatur mesopilik dan termopilik dalam kondisi ini sebesar 49,39 kW dan 37,19 kW.

**UCAPAN TERIMAKASIH**

Ucapan terimakasih penulis berikan kepada bapak Maizirwan, yang telah memberikan kesempatan untuk mendapatkan ilmu dan pengalaman baru kepada penulis

**DAFTAR PUSTAKA**

- Anindhita, Fnu., Agus, Sugiyono, 2015, *Outlook Energi Nasional 2015*. Indonesia.
- Geng, Anli, 2013, “*Conversion of Oil Palm Empty Fruit Bunch to Biofuels*”, INTECH.
- Wukovits W, Drljo A, Hilby E, Friedl A, 2013, *Integration of biohydrogen production with heat and power generation from biomass residues*. Chem. Eng. Trans;35:1003-8.
- Sularso HT, 2014, *Pompa dan Kompresor*. Cetakan Ketujuh.
- Dabrowski N, Windmeier C, Oellrich LR, 2009, *Purification of natural gases with high CO2 content using gas hydrates*. *Energy & Fuels*;23(11):5603-10.
- Abdullah N, Sulaiman F, Gerhauser H, 2011, *Characterisation of oil palm empty fruit bunches for fuel application*. *J. Phys. Sci*;22(1):1-24.