

Perancangan *Wet Scrubber* Kapasitas 0,72 m³/jam pada Proses Pemurnian Biogas dari Kotoran Sapi

Nannuba Hilma A. A¹, Sapto Prajogo², Annisa Syafitri. K³

¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : nannuba.hilma.tken418@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : saptoprajogo@gmail.com

³Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : annisa.syafitrik@polban.ac.id

ABSTRAK

Biogas merupakan sumber energi berupa gas alam melewati proses fermentasi dengan kondisi anaerob yang umumnya tersusun atas CH₄, CO₂, H₂, N₂, dan H₂S. Gas metana sebagai komposisi utama biogas pada umumnya belum optimal diakibatkan oleh komposisi CO₂ yang besar sehingga nilai kalor dapat menurun dan komposisi H₂S yang bersifat korosif dapat menimbulkan masalah pada proses pembakaran. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan proses pemurnian dengan metode absorpsi menggunakan *wet scrubber* dengan memanfaatkan H₂S dan CO₂ yang memiliki kelarutan tinggi terhadap air. *Wet scrubber* melakukan kontak gas dan absorben cair dengan arah yang berlawanan, kemudian biogas yang masuk melalui bawah kolom akan diberi cairan berupa air dari atas kolom sehingga gas CO₂ dan H₂S akan terlarut oleh air. Perancangan ini dilakukan untuk biogas di Peternakan Sapi, Cigugur Girang dengan komposisi CH₄ sebesar 55,5%, CO₂ sebesar 43%, N₂ sebesar 1%, H₂S sebesar 0,16%, dan O₂ sebesar 0,34%. Tujuan dari perancangan ini untuk merancang sistem *wet scrubber* untuk proses pemurnian biogas, melakukan pengujian pengoptimalan komposisi CH₄ biogas hasil *wet scrubber* dengan simulasi menggunakan software Aspen Plus, dan melakukan analisis keekonomian dari perancangan sistem *wet scrubber* terhadap keuntungan peningkatan kualitas biogas. Pada perancangan menggunakan perhitungan manual untuk dilakukan simulasi menggunakan software Aspen Plus didapatkan dimensi *wet scrubber* dengan diameter 3,559 m, tinggi kolom 13,897 m, dan laju alir air 6892,49 kmol/jam. Pemurnian menghasilkan komposisi akhir H₂S sebesar 3,79 ppm dan komposisi CO₂ sebesar 26,77%.

Kata Kunci

Biogas, Absorpsi, Wet Scrubber, H₂S, Aspen Plus

1. PENDAHULUAN

Sumber energi alternatif yang dapat digunakan salah satunya adalah pemanfaatan biogas. Biogas adalah gas dari produk akhir pencernaan atau degradasi anaerobik dari bahan-bahan organik yang dilakukan oleh bakteri anaerobik yang terdapat dalam lingkungan bebas (Rozaq, 2016). Dilansir dari data yang dirilis oleh Kementerian ESDM, potensi pemanfaatan biogas di Indonesia sangat besar mencapai 32 GW. Namun kapasitas pembangkit listrik bioenergi yang tercapai baru sebesar 1,8965 GW. Sementara target kebijakan energi nasional (KEN) untuk pembangkit listrik ini sebesar 5,5 GW pada tahun 2025. Berdasarkan data tersebut, pemanfaatan biogas sebagai sumber energi perlu ditingkatkan dan juga dilakukan

optimalisasi pada pembangkit listrik bioenergi yang sudah terbangun.

Biogas biasanya memiliki kandungan 50-70% CH₄, 25-50% CO₂, 1-5% H₂, 0,3-3% N₂ dan H₂S (Fitria, 2009). Dalam penggunaannya, biogas dapat membantu mengurangi emisi gas metana ke atmosfer yang dua puluh satu kali lebih berbahaya daripada emisi karbondioksida. Berkurangnya emisi dikarenakan pemanfaatan dari gas metana pada proses anaerobik yaitu untuk memasak, menyalakan lampu, dan menggerakkan generator listrik.

Tingginya kadar H₂S dan CO₂ dalam biogas menunjukkan kualitas biogas yang rendah (Nugraha, 2021). Selain itu, H₂S merupakan gas yang memiliki sifat korosif sehingga dapat menimbulkan masalah pada proses pembakaran dari biogas dan juga dalam

pembakarannya H₂S dapat menjadi beracun dan menimbulkan asidifikasi. Begitu pula CO₂ merupakan gas agak beracun yang apabila semakin tinggi konsentrasinya akan menurunkan nilai kalor biogas itu sendiri.

Metode absorpsi merupakan upaya untuk meningkatkan kualitas biogas dengan meminimalkan gas pengotor dalam biogas. Gas yang diserap adalah hidrogen sulfida (H₂S) dan karbon dioksida (CO₂) karena kedua gas ini memiliki sifat kelarutan yang tinggi dalam air. Absorpsi diadopsi pada proses permurnian metode wet scrubber menggunakan absorbent untuk melarutkan absorbent. Metode wet scrubber adalah salah satu cara yang dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan H₂S dan CO₂ pada biogas, hal ini dikarenakan kedua gas tersebut mudah larut dalam air dibandingkan gas metana. Berdasarkan penelitian Dwinanda (2017), absorpsi pada biogas dengan menggunakan wet scrubber dapat menghasilkan komposisi CH₄ sebesar 74,34% dari komposisi awal 56,73% dan hasil akhir komposisi H₂S sebesar 4 ppm dari komposisi awal 0,62% atau 6200 ppm.

Dari hasil studi literatur, metode yang cukup efektif dan efisien dalam merancang wet scrubber untuk mencapai komposisi biogas yang optimal adalah penggunaan metode perancangan wet scrubber yang akan disimulasikan menggunakan software Aspen Plus (Dwinanda, 2017). Maka akan dibuat perancangan wet scrubber dengan simulasi menggunakan software Aspen Plus untuk meningkatkan komposisi CH₄ pada biogas produk peternakan sapi Cigugur Girang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Biogas merupakan sumber energi berupa gas alam yang dihasilkan dari bahan organik setelah melewati proses fermentasi dengan kondisi anaerob (tanpa udara). (Dwinanda, 2017). Bahan organik yang dapat digunakan yaitu seperti kotoran ternak, sisa tanaman, biomassa, sampah hasil aktivitas sehari-hari, dan lain sebagainya. Dari bahan-bahan organik tersebut, setelah terurai dengan kondisi anaerob, kemudian melepaskan campuran gas. Dengan proses fermentasi, pencernaan anaerob tersebut merupakan bentuk alami dari limbah menjadi energi.

Biogas umumnya memiliki kandungan 50-70% CH₄, 25-50% CO₂, 1-5% H₂, 0,3-3% N₂ dan H₂S (Fitria, 2009). Kandungan energi yang terdapat dalam gas metana dapat digunakan sebagai energi alternatif, seperti menggerakkan generator set yang akan menghasilkan listrik. Kualitas biogas dapat diukur dengan tinggi kandungan metana dan dapat ditingkatkan dengan mengurangi atau menghilangkan kandungan gas lainnya.

2.2 Komposisi Biogas

Berdasarkan (Anggito, 2014) beberapa campuran gas yang terkandung di dalam biogas memiliki komponen utama yang terdiri dari metana (CH₄) sebesar 50-70%, kemudian karbon dioksida (CO₂) sebesar 25-50%, serta beberapa gas lain seperti H₂S, N₂, dan O₂. Dari seluruh komposisi yang terdapat pada biogas, setiap gasnya memiliki sifat masing-masing yaitu :

1. Metana (CH₄) adalah gas sebagai komponen utama dari biogas. Gas ini memiliki sifat mudah terbakar dan jumlahnya menentukan kualitas dari biogas. Pembakaran CH₄ dikonversi menjadi molar ekivalen dari CO₂ dan air.
2. Karbon dioksida (CO₂) adalah gas yang beracun. Pengaruh gas ini pada biogas yaitu semakin tinggi konsentrasi CO₂, maka nilai kalor biogas semakin rendah.
3. Hidrogen sulfida (H₂S) adalah gas yang memiliki sifat korosif sehingga dapat menimbulkan masalah pada proses pembakaran dari biogas dan memengaruhi media jalur distribusi biogas. Selain itu, H₂S yang diubah menjadi SO₂ juga beracun dan dapat menyebabkan asidifikasi.
4. Uap air pada komposisi biogas tidak akan menimbulkan bahaya, namun jika berkombinasi dengan CO₂ dan H₂S dapat pula mengakibatkan korosi.

Tabel 1 Komposisi pada Biogas

Komposisi	Presentase
Metana (CH ₄)	50-70%
Karbon dioksida (CO ₂)	25-45%
Nitrogen (N ₂)	1-5%
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0-3%
Oksigen (O ₂)	0,1-0,5%

Sumber : (Maynell, 1976)

2.3 Wet Scrubber

Wet scrubber merupakan sebuah unit / alat absorpsi gas yang terdiri dari sebuah kolom yang dilengkapi oleh masukan gas dan ruang distribusi pada bagian bawah, lalu masukan zat cair dan distributornya terdapat pada

bagian atas, untuk keluaran gas dan zat cair masing-masing terdapat di bagian atas dan bagian bawah. Kemudian di dalamnya diisi dengan massa zat cair atau inert dan di atas penyangganya disebut isian menara atau tower packing. Pada wet scrubber, arus gas kotor dibawa menuju kontak dengan liquid pencuci dengan cara menyemprotkan, mengalirkan, ataupun dengan metode kontak lainnya.

Metode wet scrubber adalah salah satu cara yang dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan H₂S dan CO₂ pada biogas, hal ini dikarenakan kedua gas tersebut mudah larut dalam air dibandingkan gas metana. Pemurnian ini murni secara fisik dengan tekanan pada scrubber biasanya pada tekanan 7-10 bar. Metode ini memiliki kelebihan yaitu efisiensi >97% CH₄, kehilangan CH₄ rendah <2%, namun kekurangannya adalah membutuhkan banyak air dan dapat terjadi penyumbatan (Dwinanda, 2017).

Prinsip kerja dari wet scrubber ini ialah dengan melakukan kontak gas dan absorben cair yang dilakukan dengan arah yang berlawanan atau terjadinya sentuhan antar gas dan absorben cair dengan kondisi temperatur lingkungan. Biogas yang masuk melalui bawah kolom akan diberi cairan absorben dari atas kolom sehingga gas CO₂ dan H₂S akan terbawa dengan absorben cairan.

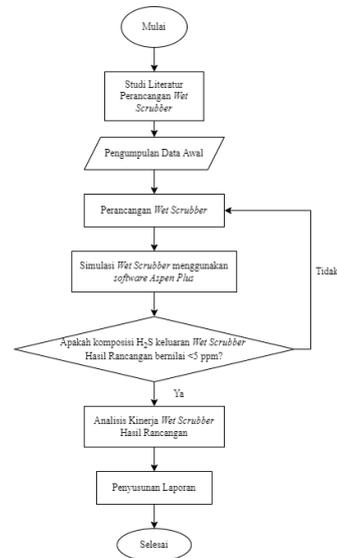
2.4 Software Aspen Plus

Aspen Plus merupakan software yang akan digunakan untuk membantu analisis wet scrubber hasil rancangan, simulasi wet scrubber ini menggunakan pemodelan absorber dengan nilai masukan yang diberikan dalam penelitian yaitu karakteristik biogas dan parameter perancangan wet scrubber yang telah dilakukan perhitungan manual. Aspen Plus akan menampilkan parameter-parameter hasil atau keluaran yang dapat membantu menganalisis wet scrubber yang dirancang dengan menggunakan hubungan sifat fisik dasar suatu proses, yaitu material and energy balances, thermodynamic equilibrium, rate equations (Eden, 2012).

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian berjenis penelitian kuantitatif dengan menggunakan rumus matematis dan perhitungan komputasi. Perancangan dilakukan dengan berdasarkan data yang diperoleh dari pengolahan biogas di

peternakan sapi di Cigugur Girang, Kec. Parongpong, Kab. Bandung Barat, Jawa Barat.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Data Eksisting

Pada penelitian dibutuhkan data eksisting untuk mengetahui kondisi operasi di lapangan sehingga dapat digunakan untuk perancangan dengan perhitungan manual untuk memperoleh dimensi dan simulasi software Aspen Plus untuk memperoleh komposisi akhir biogas. Data eksisting dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2 Data untuk Perancangan

Properties Biogas		
Parameter	Nilai	Satuan
Temperatur Biogas	21	°C
Tekanan Biogas	0,88	Bar
Debit Aliran Biogas	0,72	m ³ /h
Massa Jenis Biogas	0,657	kg/m ³
Properties Air		
Parameter	Nilai	Satuan
Temperatur Air	21,7	°C
Tekanan Air	1	Bar
Viskositas Air	0,938	cP
Tegangan Permukaan	0,0725	N/m
Massa Jenis Air	997	kg/m ³

Tabel 3 Data Eksisting Komposisi Biogas

Komposisi	Presentase
Metana (CH ₄)	55,5%
Karbon dioksida (CO ₂)	43%
Nitrogen (N ₂)	1%
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0,16%
Oksigen (O ₂)	0,34%

Total	100%
-------	------

3.2 Perancangan Wet Scrubber Packed Column

Perancangan wet scrubber dengan jenis packed column mengacu pada tahapan-tahapan yang terdapat pada buku (Chemical Engineering Design Volume 6 4th Edition, 2005).

3.2.1 Pemilihan Tipe dan Size Packing

Dalam merancang wet scrubber jenis packed column dipilih tipe packing Metall Pall Ring sesuai dengan yang sudah tercantum dalam desain packing pada buku yang digunakan sebagai acuan. Tipe ini dipilih karena memiliki desain dengan luas kontak permukaan efektif paling besar sehingga cukup efektif untuk distribusi air dan gas.

	Size		Bulk density (kg/m ³)	Surface area a (m ² /m ³)	P _t / F
	in.	mm			
Raschig rings ceramic	0.50	13	881	368	
	1.0	25	673	190	
	1.5	38	689	128	
	2.0	51	651	95	
	3.0	76	561	69	
Metal (density for carbon steel)	0.5	13	1201	417	
	1.0	25	625	207	
	1.5	38	785	141	
	2.0	51	593	102	
	3.0	76	400	72	
Pall rings metal (density for carbon steel)	0.625	16	593	341	
	1.0	25	481	210	
	1.25	32	385	128	
	2.0	51	353	102	
	3.5	76	273	66	
Plastics (density for polypropylene)	0.625	16	112	341	
	1.0	25	88	207	
	1.5	38	76	128	
	2.0	51	68	102	
	3.5	76	89	64	
Intalox saddles ceramic	0.5	13	737	480	
	1.0	25	673	253	
	1.5	38	625	194	
	2.0	51	609	108	
	3.0	76	577		

Gambar 2 Data Desain Bed Packing

3.2.2 Penentuan Nilai HETP

Tower Packing	Value of n
#25 IMTP [®] Packing	1.13080
#40 IMTP [®] Packing	1.31850
#50 IMTP [®] Packing	1.56860
1 in. Pall Ring	1.13080
1½ in. Pall Ring	1.35820
2 in. Pall Ring	1.65840
1 in. Intalox [®] Saddle	1.13080
1½ in. Intalox [®] Saddle	1.39020
2 in. Intalox [®] Saddle	1.72330

Gambar 3 Nilai (n) Konstan untuk Jenis Packing

$$\ln HETP = n - 0,187 * \ln \sigma + 0,213 * \ln \mu$$

3.2.3 Penentuan Tinggi Kolom Laju Alir Minimum

$$Ls, min = Gs \frac{Y-Yt}{X-Xt} \quad (1)$$

Faktor Absorpsi

Kolom Atas	$[e_a]_t = \frac{Lt}{m \cdot Gt} \quad (2)$
Kolom Bawah	$[e_a]_b = \frac{Lb}{m \cdot Gt} \quad (3)$
Total Faktor Absorpsi	$e_a = [e_a]_t + [e_a]_b \quad (4)$

Tinggi Kolom

$$Z = Nt \times HETP \quad (5)$$

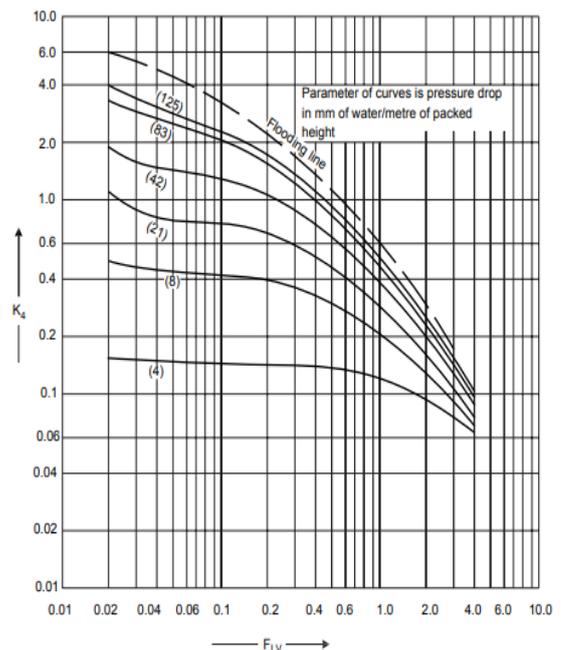
3.2.4 Penentuan Jumlah Tray Teoritis

Jumlah tray teoritis dalam kolom wet scrubber diperoleh dengan menghitung menggunakan persamaan

$$Nt = \frac{\log \left(\frac{Y_b + m \cdot X_t}{Y_t - m \cdot X_t} \left(1 - \frac{1}{e_a} \right) + \frac{1}{e_a} \right)}{\log e_a} \quad (6)$$

3.2.5 Penentuan Diameter Kolom

Berdasarkan packing yang dipilih yaitu packing dengan tipe Pall Ring Metal berukuran 3.4 inch (76 mm), maka dengan kondisi tersebut disarankan pressure drop sebesar 15-50 mm H₂O/m packing. Untuk memudahkan pembacaan grafik diambil nilai tengah dari nilai yang disarankan, maka untuk pressure drop diasumsikan sebesar 21 mmH₂O/m packing.



Gambar 4 Correlates the Liquid and Vapour Flow Rates

Setelah diperoleh nilai konstanta flooding, nilai tersebut akan digunakan untuk menentukan laju aliran massa gas per satuan luas penampang kolom yang ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$V_W^* = \left[\frac{K_A \cdot \rho_v (\rho_l - \rho_v)}{13,1 \cdot F_p (\mu_L / \rho_l)^{0,1}} \right]^{1/2} \quad (7)$$

Nilai laju aliran massa gas per satuan luas penampang kolom kemudian digunakan untuk memperoleh nilai luas area transfer yang dibutuhkan pada packed column yang ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$A = \frac{G_s}{V_W^*} \quad (8)$$

Dari nilai luas area transfer maka dapat dihitung untuk memperoleh nilai diameter kolom dengan persamaan sebagai berikut

$$Dc = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times A} \quad (9)$$

4. Hasil Perancangan

4.1 Hasil Perhitungan Dimensi

Perhitungan mengenai perancangan dilakukan untuk mendapatkan nilai laju alir air minimal yang dibutuhkan wet scrubber, diperoleh sebesar 6891,777 kmol/jam. Setelah itu ditentukan dimensi yang meliputi jumlah tray, nilai HETP, tinggi kolom, dan diameter kolom melalui perhitungan manual. Hasil perancangan wet scrubber ini dapat dilihat pada Tabel 4

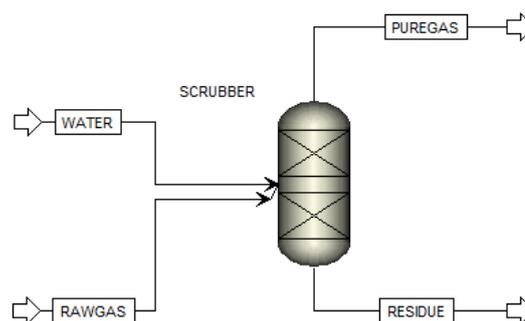
Tabel 4 Hasil Perancangan Wet Scrubber

Design Wet Scrubber Packed Column	
Material	Stainless Steel
Diameter Column, m (inch)	3,559 (140,107)
Stages	13
HETP, m	1,096
Height Column, m	13,897
Flow Pattern	Counter Current
Packing Support	Gas Injection
Pressure drop desain, mmH ₂ O/m packing	21
Design Packing	
Vendor	Norton
Packing Type	Packed Metal Pall Ring
Size	Inch 3,5 mm 76
Surface area, m ² /m ³	66
Bulk Density, kg/m ³	273

Packing Factor, m ⁻¹	52
Packing Structure	Random

4.2 Hasil Simulasi Software Aspen Plus

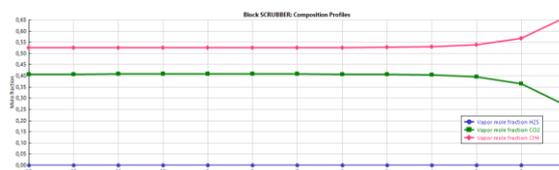
Merancang wet scrubber dalam main flowsheet yang dimodelkan menggunakan kolom Radfrac Column kemudian menentukan material stream proses, yaitu water sebagai air masuk, rawgas sebagai masukan biogas awal, puregas sebagai keluaran biogas hasil pemurnian, dan residue sebagai air keluaran dari scrubber.



Gambar 5 Simulasi Software Aspen Plus

5. ANALISIS

5.1 Profil Komposisi Biogas



Gambar 6 Profil Komposisi Biogas

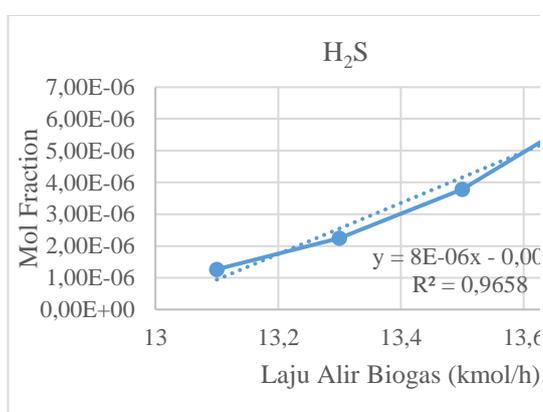
Profil pada Gambar 6 menunjukkan fraksi mol CH₄, H₂S, dan CO₂ pada setiap stages di dalam wet scrubber. Kandungan H₂S pada stages 13 sudah mengalami penurunan hingga bernilai 0,00104 mol fraction atau 0,104% juga sama dengan 1040 ppm dan semakin naik stages maka kandungan H₂S semakin kecil, pada stages 1 diperoleh nilai akhir kandungan H₂S sebesar 3,79 x 10⁻⁶ mol fraction atau 3,79 x 10⁻⁴ % juga sama dengan 3,79 ppm. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa biogas sudah sesuai standar kesehatan untuk lingkungan kerja yaitu tidak melebihi 5 ppm.

Selain H₂S, kandungan CO₂ merupakan gas dengan sifat kelarutan yang tinggi terhadap air dengan komposisi yang cukup besar setelah CH₄. Dari profil tersebut dapat diketahui bahwa kandungan CO₂ pun menurun. Meskipun kandungan CO₂ tidak terdapat

standar yang membatasinya, kandungan CO₂ ini akan memengaruhi kualitas dari biogas karena semakin rendah CO₂ maka akan semakin meningkat kandungan CH₄ dan semakin tinggi CH₄ maka akan semakin baik kualitas dari biogas.

Berdasarkan profil komposisi biogas, kandungan CO₂ mengalami penurunan setiap stages-nya dan memiliki hasil akhir di stages 1 sebesar 0,268 mol fraction atau 26,8%. CH₄ mengalami peningkatan setiap stages-nya dengan hasil akhir CH₄ 0,663 mol fraction atau 66,3%.

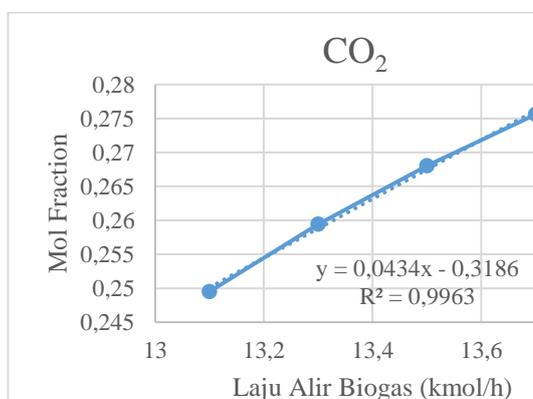
5.2 Pengaruh Perubahan Laju Alir Biogas terhadap Kemampuan Absorpsi H₂S



Gambar 7 Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Kandungan H₂S

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa kandungan H₂S semakin meningkat apabila laju alir biogas semakin tinggi. Hal ini menandakan bahwa semakin tinggi laju alir biogas, maka semakin kecil kandungan H₂S yang terserap oleh air.

5.3 Pengaruh Perubahan Laju Alir Biogas terhadap Kemampuan Absorpsi H₂S

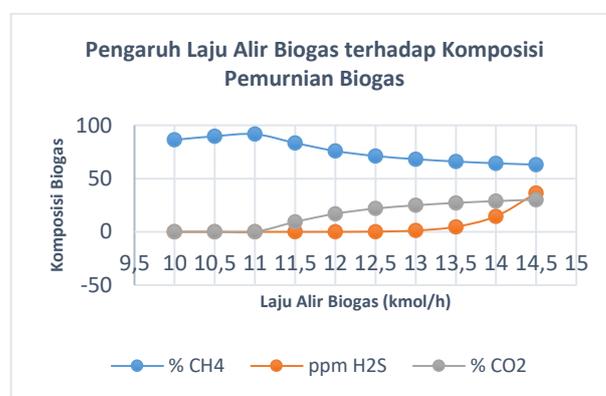


Gambar 8 Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Kandungan CO₂

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui kandungan CO₂ semakin meningkat ketika laju alir biogas juga meningkat. Dari hal tersebut menandakan bahwa semakin tinggi laju alir biogas maka akan semakin rendah kemampuan absorpsi CO₂. Hal ini diakibatkan oleh sifat kelarutan dari CO₂ lebih rendah dari H₂S.

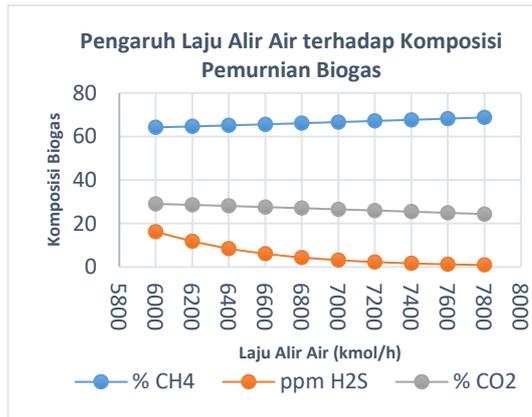
Kinerja wet scrubber dapat dikatakan berhasil dilihat dari penurunan komposisi dari trace components pada biogas yang signifikan seperti dalam perancangan ini yaitu penurunan kandungan H₂S dari 1646 ppm menjadi 3,79 ppm dan kandungan CO₂ dari 43% menjadi 26,8%.

5.4 Analisis Off-Design Wet Scrubber



Gambar 9 Pengaruh Laju Alir Biogas terhadap Komposisi Pemurnian Biogas

Berdasarkan kurva di atas dapat diketahui bahwa semakin besar laju alir biogas maka komposisi H₂S dan CO₂ akan mengalami penurunan sedangkan CH₄ akan mengalami peningkatan, sehingga semakin kecil laju alir biogas maka akan semakin meningkat kualitas dari biogas setelah pemurnian. Pada laju alir biogas sebesar 11 kmol/h dengan laju alir air 6892,491 kmol/h dapat mencapai komposisi CH₄ tertinggi yaitu 91,7%, H₂S sebesar 0,001 ppm, dan CO₂ sebesar 0,1%.



Gambar 10 Pengaruh Laju Alir Air terhadap Komposisi Pemurnian Biogas

Dari kurva hasil percobaan mengenai laju alir air pada wet scrubber, diketahui bahwa komposisi H₂S dan CO₂ semakin menurun ketika laju alir air semakin besar. Sebaliknya untuk komposisi CH₄, akan meningkat ketika laju alir air semakin besar. Sehingga kualitas dari biogas akan semakin baik ketika laju alir air semakin besar dengan desain wet scrubber yang sudah ditentukan dalam perancangan. Komposisi terbaik dari varasi laju alir air yang dilakukan terdapat ketika laju alir air sebesar 7800 kmol/h dengan laju alir biogas yang ditetapkan sebesar 13,54 kmol/h.

5.5 Kelayakan Ekonomi

5.5.1 Potensi Energi

Nilai potensi energi dapat diperoleh dari nilai entalpi biogas. Dari hasil pengolahan biogas di Peternakan Sapi, Cigugur Girang digunakan pemilik untuk dijadikan bahan bakar pengganti gas LPG 3 kg. Gas LPG 3 kg memiliki nilai kalor 46 MJ/kg dengan harga Rp. 21.000/3 kg.

Potensi energi sebelum melalui proses pemurnian menggunakan wet scrubber bernilai 131,39 MJ/hari, sedangkan setelah melalui proses pemurnian diperoleh potensi energi sebesar 156,96 MJ/hari. Biogas hasil perancangan sebanding dengan penggunaan LPG 3 kg sebanyak 2 tabung. Apabila dalam satu tahun hasil perancangan wet scrubber dapat menghasilkan biogas atau dapat menghemat sebesar Rp. 15.330.000/tahun.

5.5.2 Investasi

Penentuan harga dari wet scrubber ini diambil dari harga yang tersedia di pasaran. Menurut e-commerce alibaba.com dengan brand

Xicheng yang berasal dari China, diperoleh harga wet scrubber senilai \$ 15.000 dengan kurs Dollar ke Rupiah per tanggal 22 Juni 2022 sebesar Rp. 14.923.

Tabel 5 Biaya Investasi Wet Scrubber

Parameter	Nilai	Satuan
Kurs	14.923,00	Rp
1 Set Wet Scrubber (Pump, Engine)	1.500	\$
	Rp 22.384.500	Rp
Shipping	Rp 7.461.500	Rp
Ekspedisi	Rp 2.984.600	Rp
Instalasi		
Jasa Instalasi (7 Hari)	5 Pekerja	Rp 3.500.000
Pipa (16 inch)	28 m	Rp 13.189.400
Cor Beton	20 m ³	Rp 13.800.000
Total Instalasi		Rp 30.489.400
Pajak		
Bea cukai (7,5%)	7,50%	Rp 1.678.838
PPn (10%)	10%	Rp 2.406.334
PPh (10%)	10%	Rp 2.238.450
Total Pajak		Rp 6.323.621
Total Investasi		Rp 69.643.621

5.5.3 Net Present Value

Nilai investasi dan nilai penghematan tiap tahun diasumsikan tidak mengalami kenaikan dan penurunan, dengan umur wet scrubber yaitu 10 tahun. Rincian dari perhitungan NPV dapat dilihat dari tabel berikut.

Tabel 6 Perhitungan NPV

Parameter	Nilai	Satuan
Total Investasi	Rp 69.643.621	Rp
Biaya Penghematan	Rp 15.330.000	Rp
Inflasi	3,55%	%
Suku Bunga	8%	%
Risiko Premi	5,15%	%
Marr	16,70%	%

Umur wet scrubber	10	Tahun
NPV	Rp 2.559.056	Rp

5.5.4 Payback Periode

Payback periode adalah periode yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran investasi yang digunakan dalam perancangan wet scrubber jenis packed column. Penentuan payback periode akan mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan keuntungan dari biaya investasi sebesar Rp 69.643.621. Perhitungan payback periode dapat diketahui rinciannya pada tabel

Tabel 7 Perhitungan Payback Periode

Tahun ke	Investasi	Saving	Free Cash Flow	Cummulativ
0	Rp 69.643.621		-Rp 69.643.621	-Rp 69.643.621
1		Rp 15.330.000	Rp 15.330.000	-Rp 54.313.621
2		Rp 15.330.000	Rp 15.330.000	-Rp 38.983.621
3		Rp 15.330.000	Rp 15.330.000	-Rp 23.653.621
4		Rp 15.330.000	Rp 15.330.000	-Rp 8.323.621
5		Rp 15.330.000	Rp 15.330.000	7.006.379
6		Rp 15.330.000	Rp 15.330.000	22.336.379
7		Rp 15.330.000	Rp 15.330.000	37.666.379
8		Rp 15.330.000	Rp 15.330.000	53.006.379
9		Rp 15.330.000	Rp 15.330.000	68.346.379
10		Rp 15.330.000	Rp 15.330.000	83.686.379

6. KESIMPULAN

Hasil perancangan wet scrubber yang dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Rancangan wet scrubber yang memenuhi standar keamanan dan kesehatan yang dijadikan acuan :

Wet Scrubber		
Diameter Column, m		3,0
Stages		1
HETP, m		1,0
Height Column, m		13,0
Pressure Drop design, mm H ₂ O/m Packing		2,0
Packing		
Packing Type		Pall Mc
Size	Inch	3
	mm	75
Surface Area, m ² /m ³		60
Packing Factor, m ⁻¹		4
Packing Structure		Randorr
Packing Support		Gas In
Process		
BiogasFlow Rate, m ³ /h		0,5
Composition of H ₂ S, ppm		< 10
Composition of CO ₂ , %		26,0

2. Hasil optimasi kualitas biogas dari proses pemurnian melalui simulasi menggunakan software Aspen Plus dapat dilihat dalam tabel berikut :

Komposisi	Sebelum Pemurnian		Setelah Pemurnian	
	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
CH ₄	55,5	%	66,4	%
H ₂ S	1646	ppm	3,79	ppm
CO ₂	43	%	26,77	%
O ₂	0,34	%	0,4	%
N ₂	1	%	0,1	%

3. Kelayakan ekonomi dalam perancangan ini menggunakan dua metode yaitu net present value dan payback periode dengan nilai NPV sebesar Rp 2.559.056 dan payback periode selama 4 tahun 7 bulan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Anggito, A. T. (2014). *Studi Pembangkitan Energi Listrik Berbasis Biogas*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- [2]. Chattopadhyay, P. (2007). *Absorption and Stripping*. New Delhi: Asian Books Pvt. Ltd.
- [3]. Coulson, R. R. (2007). *Chemical Engineering Design Volume 6 4th Edition*. Oxford: Elsevier's Science & Technology Right.
- [4]. Dwinanda, V. C. (2017). *Perancangan Wet Scrubber sebagai Unit Pengurang Kadar H₂S pada Produksi Biogas di PT Enero Mojokerto*. Surabaya: Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5]. Eden, M. R. (2012). *Introduction to Aspen Plus Simulation*. Chemical Engineering Departement, Auburn University.
- [6]. Fitria, B. (2009). *Biogas sebagai Alternatif Energi yang Efektif*. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- [7]. Maynell. (1976). *Methane : Planning a Digester*. Great Britain: Prism Press.
- [8]. Nadliriyah, N., & Triwikantoro. (2014). Pemurnian Produk Biogas dengan Metode Absorpsi Menggunakan Larutan Ca(OH)₂. *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, 2337-3520.

- [9]. Newnan, D. (1990). *Engineering Economic Analysis*. California: Engineering Press Inc.
- [10]. Nugraha, A. F. (2021). *Perancangan Wet Scrubber untuk Proses Pemurnian pada Produksi Biogas*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [11]. Perry, R., & Green, D. (1997). *Perry's Chemical Engineers Handbook, 6th ed.* New York: McGraw-Hill.
- [12]. Rozaq, A. (2016). *Perancangan Filter Purifikasi Biogas Menggunakan Wet Scrubber*. Surabaya: Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [13]. Sahwan, F. L., Wahyono, S., Suryanto, F., & Hanif, M. (2019). Purifikasi Gas Metana (CH₄) dari TPA Sampah Menggunakan Metode Water Scrubber. *Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 20 No. 2*, 171-178.
- [14]. Sulaiman, F. (2008). *Absoprsi*. Serang: Jurusan Teknik Kimia, Universitas Ageng Tirtayasa.
- [15]. Sullivan, W., Wicks, E., & Koelling, C. (2014). *Engineering Economy Sixteenth Edition*. New Jersey: Pearson Education Ltd.
- [16]. Suyitno. (2007). *Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBio) yang Dilengkapi dengan Kompresi*. Jawa Tengah: Balitbang.
- [17]. Wahyuni, S. (2008). *Biogas*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- [18]. Wijayanto, D. (2012). *Pengantar Manajemen*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- [19]. Wilson. (2004). *Gas-Liquid Contact Area of Random and Structured Packing*. USA: Master Thesis. University of Texas.