

Pengaruh Variasi Droplet Filter NH_3 dan NaOH pada Gasifier Tipe *Updraft* dengan Bahan Pelet Kayu

Imam Hambali¹⁾, Purbo Suwandono²⁾, Arief Rizki Fadillah³⁾, Leo Hutri Wicaksono⁴⁾

¹⁻⁴⁾Teknik Mesin, Universitas Widyagama Malang

*Corresponding author: ¹⁾purbo@widyagama.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas pengaruh variasi droplet filter cair pada gasifikasi tipe *updraft* menggunakan *wood pellet* sebagai bahan bakar. Studi ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses gasifikasi biomassa, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi dampak lingkungan. Sistem *nozzle sprayer* digunakan untuk penyaringan *syn-gas* dengan larutan Ammonia (NH_3) dan NaOH sebagai media filter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi filter dengan 50% Ammonia dan 50% NaOH memberikan stabilitas tinggi dengan kandungan H_2 sebesar 195 PPM pada detik ke-1400. Selain itu, nilai HHV tertinggi sebesar 38.752 kJ/kg diperoleh pada filter 100% Ammonia, yang disebabkan oleh sifat amfoter Ammonia yang efektif mengikat gas asam seperti CO dan CH_4 . Hasil ini menunjukkan potensi besar penggunaan filter berbasis larutan kimia untuk meningkatkan kualitas gas hasil gasifikasi dan mendukung produksi energi yang lebih bersih dan efisien.

Kata Kunci: Ammonia (NH_3), Gasifier, HHV, NaOH , *Updraft*

Abstract

This research discusses the effect of variations in liquid filter droplets on updraft type gasification using wood pellets as fuel. This study aims to optimize the biomass gasification process, increase energy efficiency and reduce environmental impacts. The nozzle sprayer system is used for syn-gas filtration with Ammonia (NH_3) and NaOH solutions as filter media. The research results show that the filter variation with 50% Ammonia and 50% NaOH provides high stability with an H_2 content of 195 PPM at the 1400th second. In addition, the highest HHV value of 38,752 kJ/kg was obtained in the 100% Ammonia filter, which was caused by the amphoteric nature of Ammonia which effectively binds acid gases such as CO and CH_4 . These results show the great potential of using chemical solution-based filters to improve the quality of gasification results and support cleaner and more efficient energy production

Keywords: Gasifier, Ammonia (NH_3), NaOH , HHV, *Updraft*

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi fosil seperti minyak, gas, dan batubara semakin menurun. Sebagai alternatif, biomassa sumber energi terbarukan dari bahan organik seperti tanaman dan limbah dapat menjadi solusi. Karena cadangan bahan bakar fosil akan terus berkurang, biomassa dari tumbuhan penting untuk dipertimbangkan sebagai bahan baku yang dapat diperbarui di masa depan.

Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang serbaguna, mampu menghasilkan bahan bakar untuk panas, listrik, dan transportasi. Namun, karena sifat fisiknya seperti kerapatan energi rendah, biomassa perlu diolah lebih lanjut, misalnya menjadi pelet kayu. Dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca, pemanfaatan biomassa semakin diperhatikan. Penelitian menunjukkan bahwa biomassa memiliki potensi besar untuk mendukung keberlanjutan energi global, dengan kapasitas mencapai 146,7 juta ton per tahun, termasuk 53,7 juta ton dari sampah pada tahun 2020, yang berpotensi mengurangi polusi global dengan mengubah limbah menjadi energi [2].

Biomassa tersedia secara global dan bisa dieksploitasi dengan berbagai teknologi untuk mendukung keberlanjutan energi, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, serta menjaga lingkungan. Salah satu teknologi tersebut adalah gasifikasi, yaitu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas yang dapat digunakan untuk pembangkitan listrik, pemanasan, dan produksi gas bahan bakar [3]. Meskipun gasifikasi memiliki potensi besar untuk solusi energi berkelanjutan, tantangan teknis dan ekonomi masih perlu diatasi agar dapat diterapkan lebih luas

Gasifikasi adalah proses mengubah bahan bakar padat menjadi gas yang dapat terbakar, seperti CO, CH₄, dan H₂, dengan pembakaran udara terbatas pada suhu 200°C - 600°C [4]. Hasilnya meliputi gas yang mudah terbakar (CO, H₂, metana) serta kotoran anorganik, debu halus, dan tar.

Jenis gasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *updraft*, di mana bahan bakar dimasukkan dari bawah reaktor dan gas diambil dari atas. Gas yang dihasilkan dalam proses ini dapat mengandung partikel yang merugikan mesin dan menurunkan efisiensi [5].

Penelitian sebelumnya telah berfokus pada penyaringan gas untuk meningkatkan kadar H₂. Filter yang digunakan, seperti bonggol jagung, serutan

kayu, tempurung kelapa, zeolit, dan sekam padi, memiliki kelemahan seperti mudah kotor, porositas tidak merata, dan ketidakmampuan digunakan dalam jangka panjang. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan inovasi dalam desain filter untuk mengurangi kandungan CO, CO₂, dan CH₄ dalam syn-gas hasil gasifikasi [6].

Berdasarkan studi sebelumnya, pengembangan filter gasifier dengan penggunaan *droplet* pada filter cair telah dilakukan, yang mempengaruhi efisiensi penangkapan partikel dan kualitas gas hasil gasifikasi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami dampak variasi *droplet* filter cair terhadap performa gasifikasi tipe *updraft* menggunakan *wood pellet* sebagai bahan bakar [7].

Penelitian ini menggunakan sistem *nozzle sprayer* dan larutan kimia sebagai media penyaringan syn-gas. Tujuannya adalah mengikat kandungan karbon dalam gasifikasi dan meningkatkan komposisi H₂ dalam syn-gas. Larutan yang digunakan adalah Ammonia (NH₃) dan NaOH. NH₃, dengan sifat basanya, dapat menangkap gas asam dan membentuk senyawa seperti amonium (NH₄⁺) atau ion hidroksida (OH⁻), misalnya saat bereaksi dengan CO₂ menghasilkan NH₄HCO₃. NaOH, sebagai basa kuat, mampu menangkap gas seperti CO, CO₂, dan CH₄ melalui absorpsi kimia, di mana ion hidroksida bereaksi dengan CO₂ membentuk ion karbonat (CO₃²⁻) dan air. Dengan mempelajari pengaruh variasi *droplet* filter cair pada gasifikasi tipe *updraft*, penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan proses gasifikasi biomassa, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi dampak lingkungan [8].

2. METODE PENELITIAN

a. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dan Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Kampus III Universitas Widyagama Malang. Waktu Penelitian dimulai pada bulan Maret 2024 sampai dengan Juli 2024.

b. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode ekperimental (*experimental research*) atau pengamatan secara nyata kepada objek yang akan diteliti. Perangkat dalam penelitian ini dibuat dengan skala laboratorium untuk memperoleh hasil data lebih akurat dan kemudian diproses untuk dapat ditarik kesimpulan.

1) Variabel Bebas

Variabel bebas dari penelitian ini adalah variasi droplet filter cair yang digunakan yaitu larutan NaOH dan ammonia NH_3 .

Tabel 1. Variasi Variabel Bebas Komposisi Droplet Filter Cair

No	Ammonia NH_3 (%)	NaOH (%)
1	100%	-
2	-	100%
3	90%	10%
4	80%	20%
5	70%	30%
6	60%	40%
7	50%	50%

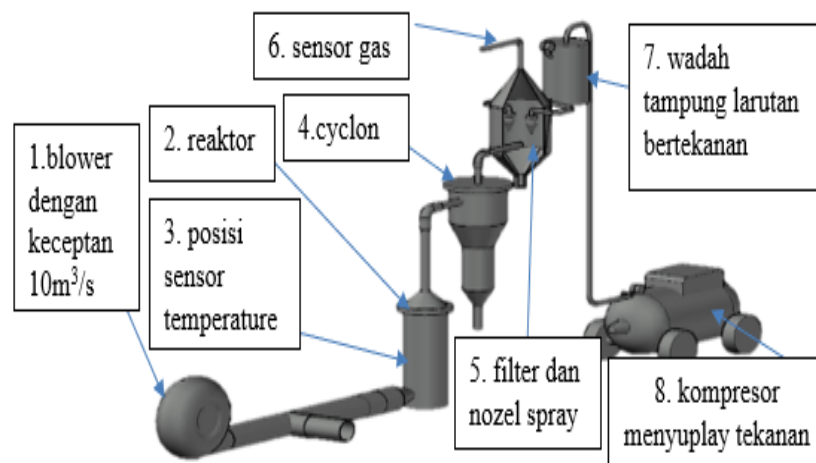
2) Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini mencakup komposisi produsen gas CH_4 , H_2 dan CO dari gas yang dihasilkan.

3) Variabel Terkontrol

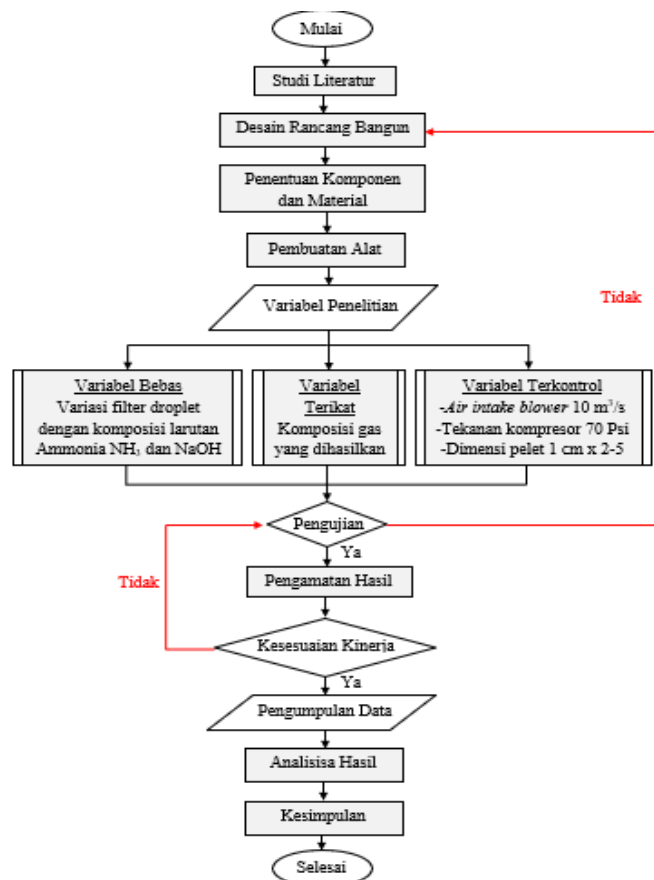
Variabel yang dikendalikan dalam penelitian ini mencakup pengaturan bukaan blower *air intake* pada tingkat konstan sebesar $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Ukuran *wood pelet* yang digunakan diatur pada diameter tetap 1 cm dengan panjang 2-5 cm dan tekanan kompresor untuk membuat droplet 70 psi. Filter gasifier menggunakan bahan larutan NaOH dan ammonia NH_3 .

c. Desain Alat



Gambar 1. Desain alat

d. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HHV (*Higher Heating Value*)

HHV (*Higher Heating Value*) atau disebut juga GHV (*Gross Heating Value*) adalah jumlah total energi panas yang dilepaskan saat bahan bakar mengalami pembakaran sempurna, termasuk panas yang dihasilkan oleh pengembunan uap air yang terbentuk selama proses pembakaran [9] .

$$HHV_g = \frac{[(X_1 HHV)CO + (X_2 HHV)H_2 + (X_3 HHV)CH_4]}{100}$$

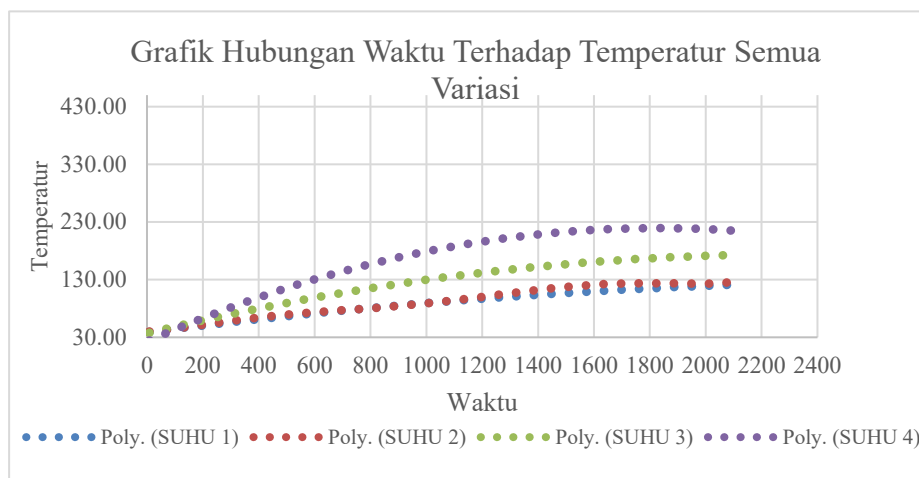
Ket:

X_1, X_2, X_3 , = Fraksi molar atau volume dari komponen gas hasil gasifikasi.

HHV = *Higher Heating Value* dari karbon monoksida, dalam satuan KJ/kg.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Temperatur Pada Gasifikasi



Gambar 3. Grafik Hubungan Waktu Terhadap Tempetur Pada Semua Variasi

Zona gasifikasi terdiri dari beberapa tahap proses termokimia di dalam reaktor. Pada zona 1 (110°C), terjadi pengeringan bahan bakar. Zona 2 (130°C) adalah zona pirolisis, di mana bahan bakar padat berubah menjadi gas tanpa oksigen. Zona 3 (170°C) adalah zona reduksi, di mana oksida logam diubah menjadi karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂). Terakhir, pada zona 4 (200-230°C), terjadi pembakaran yang menghasilkan panas untuk membantu konversi bahan bakar padat menjadi gas sintesis.

b. Hasil Perhitungan HHV (*Higher Heating Value*)

Higher Heating Value (HHV) digunakan untuk menghitung persentase nilai kalor. HHV sendiri dihitung dari *persent combustase* gas mampu bakar meliputi CO, H₂, dan CH₄. Nilai kalor gas produser dihitung berdasarkan HHV dan persentase gas yang dapat terbakar dalam gas produser tersebut. Perhitungan nilai kalor gas produser dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut [10].

$$HHV_g = \frac{[(X_1 HHV)CO + (X_2 HHV)H_2 + (X_3 HHV)CH_4]}{100}$$

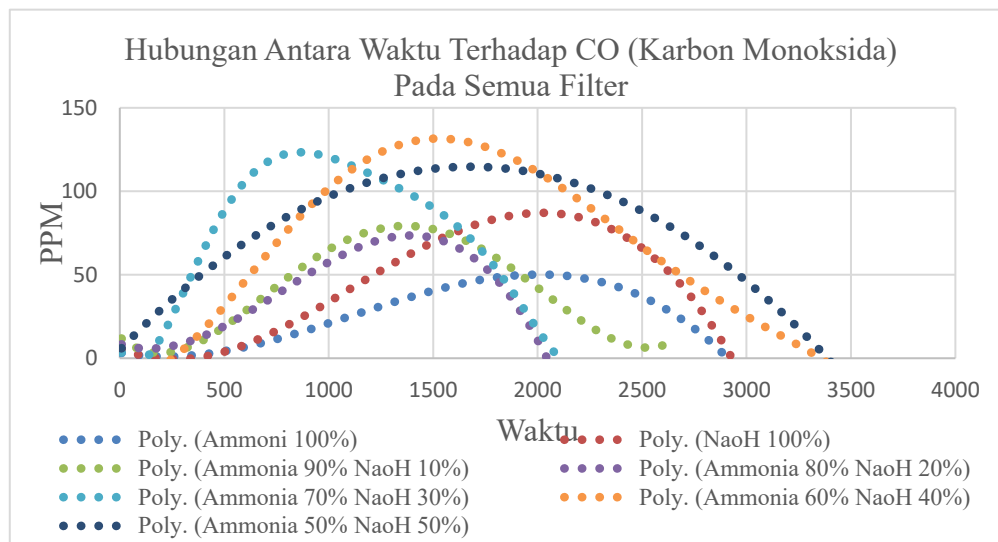
Tabel 1. Data HHV (*Higher Heating Value*)

Bahan Bakar	Variasi Filter	Senyawa %			HHV KJ/Kg
		Metan (CH ₄)	Karbon Monoksida (CO)	Hidrogen (H ₂)	
Pelet Kayu	Ammonia 100%	28,66	21,18	50,16	38752
	NaOH 100%	32,40	41,46	26,14	25680
	Ammonia 90%	45,96	31,78	22,26	26089
	NaOH 10%				
	Ammonia 80%	64,37	3,18	32,45	35520
	NaOH 20%				

Pengaruh Variasi Droplet Filter NH₃ dan NaOH pada Gasifier Tipe *Updraft* dengan Bahan Pelet Kayu (Imam Imam Hambali, Purbo Suwandono, Arief Rizki Fadillah, Leo Hutri Wicaksono)

Ammonia 70% NaOH 30%	42,10	33,91	23,99	26335
Ammonia 60% NaOH 40%	48,82	3,75	34,07	33428
Ammonia 50% NaOH 50%	46,22	18,19	35,60	33800

c. Hasil Pengujian Data CO dari Variasi Filter



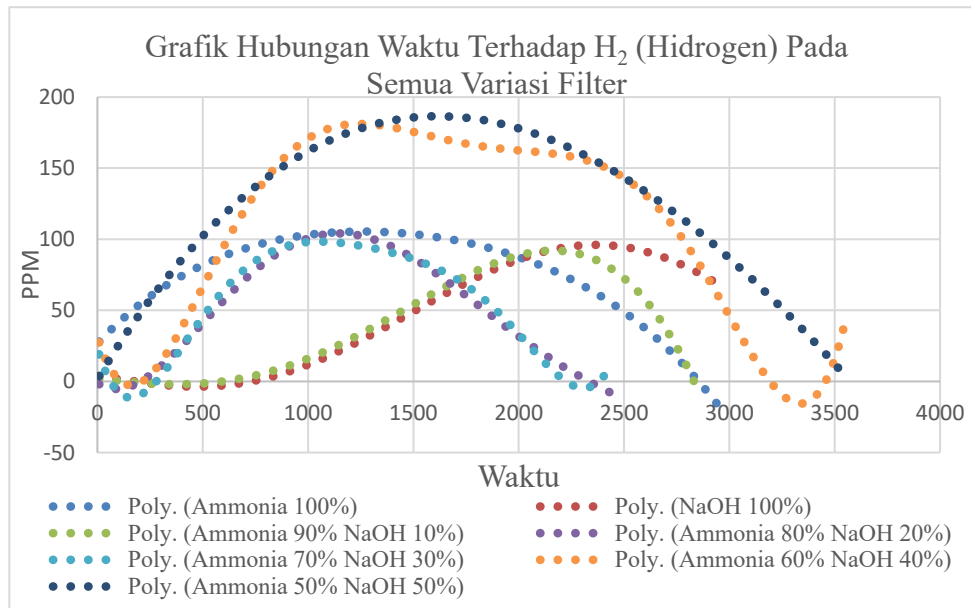
Gambar 4. Grafik Hubungan Waktu Terhadap PPM CO Pada Semua filter

Grafik menunjukkan perubahan konsentrasi CO terhadap waktu pada berbagai komposisi filter dengan ammonia dan NaOH. Filter 100% ammonia naik tajam hingga 120 PPM dalam 500 detik sebelum menurun perlahan, sementara filter 100% NaOH mencapai 100 PPM dengan penurunan yang lebih lambat.

Pada kombinasi ammonia dan NaOH, semakin banyak NaOH, laju peningkatan CO lebih lambat dan puncak konsentrasinya lebih rendah. Filter 90% ammonia dan 10% NaOH mencapai puncak 100 PPM, sedangkan filter 50% ammonia dan 50% NaOH mencapai 80 PPM. Filter dengan rasio 70% dan 60% ammonia menunjukkan pola serupa dengan puncak yang lebih rendah dan penurunan stabil.

Fluktuasi grafik mencerminkan reaksi dinamis antara CO dan komponen filter. Peningkatan CO awal menunjukkan penyerapan, sementara penurunan terjadi ketika filter mencapai kapasitas maksimum dan mulai melepaskan CO. Peningkatan NaOH dalam filter mengurangi puncak konsentrasi CO dan memperlambat penyerapan serta pelepasan gas, dengan fluktuasi yang menunjukkan dinamika penyerapan dan pelepasan CO pada berbagai komposisi filter.

d. Hasil Pengujian Data H₂ Dari Semua Variasi Filter



Gambar 5. Grafik Hubungan Waktu Terhadap PPM H₂ Pada Semua filter

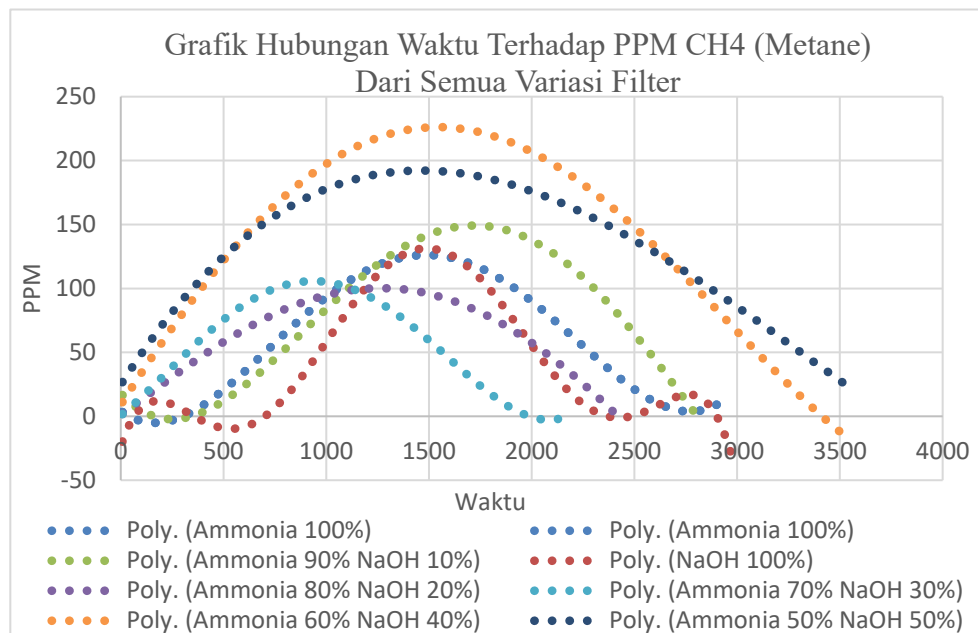
Grafik menunjukkan perubahan konsentrasi H₂ terhadap waktu dengan berbagai kombinasi filter ammonia dan NaOH. Semua filter awalnya menunjukkan peningkatan signifikan dalam H₂, dengan puncak tertinggi 170 PPM pada filter 100% ammonia. Filter dengan lebih banyak NaOH memiliki puncak H₂ lebih rendah, menandakan NaOH menghambat produksi atau penyerapan H₂.

Setelah puncak, terjadi fluktuasi pada semua filter. Filter 100% ammonia mengalami penurunan tajam, sementara filter dengan kombinasi ammonia dan NaOH menunjukkan fluktuasi yang berlanjut. Filter dengan 90% dan 80% ammonia mencapai puncak 140-150 PPM dengan peningkatan yang lebih lambat dan fluktuasi menurun setelah puncak.

Filter dengan 70% dan 60% ammonia menunjukkan peningkatan stabil dengan puncak 120-130 PPM dan penurunan lebih teratur, menstabilkan proses penyerapan dan pelepasan H₂. Filter 50% ammonia dan 50% NaOH menunjukkan peningkatan paling lambat, puncak 100 PPM, dan penurunan paling teratur, menandakan efektivitas stabilisasi penyerapan H₂.

Secara keseluruhan, lebih banyak NaOH dalam filter menurunkan puncak H₂ dan memperlambat penyerapan serta pelepasan, sementara fluktuasi mencerminkan dinamika reaksi kimia berdasarkan komposisi filter.

e. Hasil Pengujian Data CH₄ Dari Semua Filter

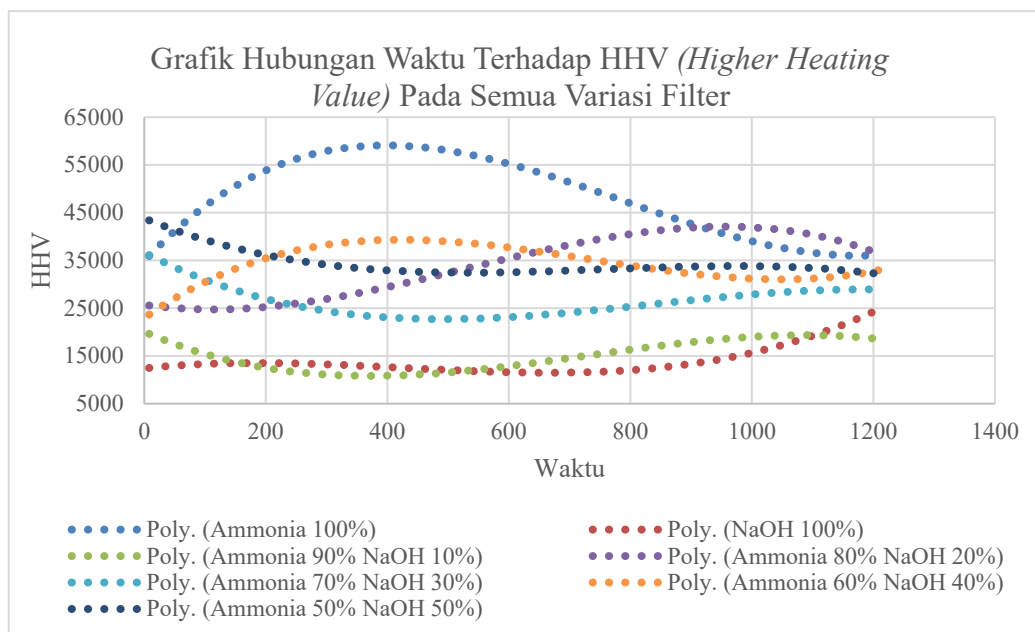


Gambar 6. Grafik Hubungan Waktu Terhadap PPM CH₄ Dari Variasi Filter

Grafik menunjukkan hubungan waktu dengan konsentrasi CH₄ dalam PPM untuk berbagai filter. Pola naik-turun mencerminkan dinamika penyerapan dan pelepasan CH₄ oleh filter, yang bervariasi tergantung komposisi. Pada awalnya, konsentrasi CH₄ meningkat hingga mencapai puncak 230 PPM pada detik ke-1500, lalu menurun saat filter mulai jenuh dan melepaskan gas.

Komposisi filter, seperti kombinasi ammonia dan NaOH, mempengaruhi efisiensi penyerapan dan pelepasan CH₄, menghasilkan pola grafik yang berbeda. Efeknya terhadap lingkungan signifikan, karena pemilihan filter yang tepat dapat mengurangi emisi CH₄, gas rumah kaca yang kuat, sehingga membantu meminimalkan dampak perubahan iklim.

f. Hasil Pengujian Nilai HHV Dari Semua Variasi Filter



Gambar 7. Hubungan Waktu Terhadap HHV Pada Semua Variasi Filter

Grafik hubungan waktu terhadap HHV menunjukkan fluktuasi signifikan pada berbagai komposisi filter. Untuk filter 100% ammonia, HHV awalnya naik drastis sebelum menurun, sedangkan 100% NaOH mengalami penurunan tajam sebelum sedikit meningkat. Kombinasi ammonia 90% dan 80% dengan NaOH 10% dan 20% menunjukkan pola serupa dengan penurunan awal diikuti peningkatan. Ammonia 70% dan NaOH 30% mengalami penurunan stabil diikuti peningkatan kecil, sementara ammonia 60% dan 50% dengan NaOH 40% dan 50% menunjukkan lonjakan awal diikuti penurunan. Fluktuasi ini disebabkan oleh perbedaan reaktivitas dan kapasitas penyerapan antara ammonia (NH_3) dan NaOH terhadap gas seperti CH_4 , CO , dan H_2 selama gasifikasi. Ammonia lebih efektif mengikat CO dan CH_4 , sedangkan NaOH lebih efisien dalam mengurangi CO_2 dan meningkatkan kualitas biogas. Interaksi kimia kompleks antara gasifikasi dan filter memengaruhi komposisi gas yang dihasilkan, yang tercermin dalam fluktuasi nilai HHV.

4. SIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan dalam penelitian ini gas yang diinginkan adalah H_2 , dikarenakan menghasilkan energi tinggi dan hanya menghasilkan air tanpa emisi CO_2 , menjadikannya ramah lingkungan dan efisien. Yang dapat diambil

kesimpulan :

1. Variasi filter dengan 50% Ammonia (NH_3) dan 50% NaOH menunjukkan stabilitas yang tinggi, dengan kandungan H_2 sebesar 195 PPM pada detik ke-1400. Pembakaran dalam reaktor berlangsung selama 3544 detik dengan laju aliran bahan bakar 1 kg pelet kayu.
2. Nilai HHV tertinggi, rata-rata 38.752 kJ/kg, diperoleh pada variasi filter 100% Ammonia. Hal ini disebabkan oleh sifat amfoter Ammonia, yang memungkinkannya bereaksi dengan asam-asam seperti CO dan CH_4 .

5. SARAN

Dari hasil penelitian ini terdapat beberapa hal yg dapat dikembangkan lagi untuk penelitian selanjut nya, antara lain :

1. Menambahkan pengujian gas seperti CO_2 , O_2 , H_2S dan N_2 untuk mendapatkan hasil data pengujian kandungan yg lebih kompleks.
2. Perlu mengetahui jenis atau kandungan yg terdapat dalam bahan bakar pelet kayu, untuk mengetahui nilai molar dari pelet kayudan kadar kelembabnya guna meningkatkan efisiensi produksi gas pada gasifikasi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Supriyadi, A. Androva, and A. D. Prasetyo, "Rancang Bangun Filter Wet Scrubber Untuk Penurunan Temperatur Dan Pengurangan Kandungan Tar Terhadap Hasil Syngas Proses Gasifikasi," *J. Automot. Technol.*, vol. 02, no. 1, pp. 45–55, 2021, [Online]. Available: <https://journal.upy.ac.id/index.php/jatve/index>
- [2] L. Parinduri and T. Parinduri, "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *J. Electr. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 88–92, 2020, [Online]. Available: <https://www.dosenpendidikan>.
- [3] A. S. Pramudiyanto and S. W. A. Suedy, "Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrem," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, pp. 86–99, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.9990.
- [4] F. Zahro, M. Budiyo, and F. B. Ilhami, "Potensi Biomassa Gasifikasi:

- Alternatif Berkelanjutan Dalam Menghasilkan Energi Listrik Untuk Masa Depan,” *Tesla*, vol. 25, no. 2, pp. 103–115, 2023.
- [5] R. Abdurrahman, R. M. A. Syafitri, A. Ridwan, and L. P. Utami, “Bio-pellets manufacture from palm fruit skin as renewable alternative fuels in updraft type gasification furnaces,” *Int. J. Des. Nat. Ecodynamics*, vol. 15, no. 6, pp. 913–920, 2020.
- [6] K. Ridhuan and Y. Yudistira, “Pengaruh Filter Dan Cyclone Pada Reaktor Gasifikasi Tipe Updraft Terhadap Hasil Pembakaran Syn-Gas,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 44–53, 2017, doi: 10.24127/trb.v6i1.466.
- [7] A. Nurwidayati, P. A. Sulastrri, D. Ardiyati, and A. Aktawan, “Gasifikasi Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Mahoni (*Swietenia Mahagoni*) untuk Menghasilkan Bahan Bakar Gas sebagai Sumber Energi Terbarukan,” *Chem. J. Tek. Kim.*, vol. 5, no. 2, p. 67, 2019, doi: 10.26555/chemica.v5i2.13046.
- [8] A. Dharmawan and S. Soekarno, “Uji Distribusi Semprotan Sprayer Pestisida Dengan Patternator Berbasis Water Level Detector,” *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.*, vol. 9, no. 2, p. 85, 2020, doi: 10.23960/jtep-1.v9i2.85-95.
- [9] V. N. Tahun, P. Syngas, M. A. Saputro, M. Syamsiro, B. Megaprastio, and F. F. Laksana, “Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan,” vol. 11, no. 2, 2023.
- [10] A. Aziizudin and D. H. Saptoadi, “JOICHE Kompatibilitas Penambahan Wet Scrubber Untuk Pengurangan Kandungan Tar Pada Downdraft Gasifier,” pp. 101–107, 2022.