

**PRODUKSI SYNGAS KAYA HIDROGEN YANG OPTIMAL
PADA PROSES GASIFIKASI DENGAN MEMVARIASIKAN
RASIO UAP AIR TERHADAP *MUNICIPAL SOLID WASTE*
(MSW)**



TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Satu Syarat untuk Menyelesaikan Strata-1 (S1)

pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disusun Oleh:

ELANG DAFFA SETIADJI

3331190061

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

CILEGON - BANTEN

2023

No : 027/UN.43.3.1/PK.03.08/2023

TUGAS AKHIR


PRODUKSI SYNGAS KAYA HIDROGEN YANG OPTIMAL PADA PROSES GASIFIKASI DENGAN MEMVARIASIKAN RASIO UAP AIR TERHADAP MUNICIPAL SOLID WASTE (MSW)


Dipersiapkan dan disusun oleh:

Elang Daffa Setiadji
3331190061

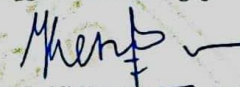
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 26 Juli 2023

Pembimbing Utama

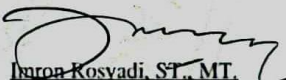

Imron Rosvadi, ST., MT.
NIP. 197605042006041001

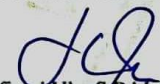

Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng.
NIP. 198403132019032009

Anggota Dewan Penguji 10/08/2023


Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, MT.
NIP. 196706022001122001

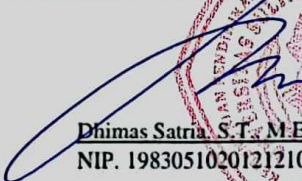

Dr. Dwinanto, ST., MT.
NIP. 198301122008121001


Imron Rosvadi, ST., MT.
NIP. 197605042006041001


Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng.
NIP. 198403132019032009

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal, 09 Agustus 2023
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA


Dhimas Satria, S.T., M.Eng.
NIP. 198305102012121006



PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama : Elang Daffa Setiadji

NPM : 3331190061

Judul : Produksi Syngas Kaya Hidrogen yang Optimal pada Proses
Gasifikasi dengan Memvariasikan Rasio Uap Air terhadap
Municipal Solid Waste (MSW)

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng
Tirtayasa.

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang
lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, Juli 2023

Elang Daffa Setiadji

NPM. 3331190061

KATA PENGANTAR

Pertama-tama saya panjatkan puji dan syukur kehadapan Tuhan Yang Maha Esa karena berkat Rahmatnya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “PRODUKSI SYNGAS KAYA HIDROGEN YANG OPTIMAL PADA PROSES GASIFIKASI DENGAN MEMVARIASIKAN RASIO UAP AIR TERHADAP *MUNICIPAL SOLID WASTE* (MSW)” untuk menyelesaikan tugas akhir sebagai syarat kelulusan pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dalam Penulisan proposal ini tentu tidak dapat selesai tanpa bimbingan maupun dukungan dari berbagai pihak. Maka dari itu penulis ingin berterimakasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Ibu Ida Safitri dan Ayah Muhamad Munfarid yang tiada hentinya memberikan bantuan, bimbingan, dorongan serta doa restu yang melimpah.
2. Bapak Dhimas Satria, S. T., M. T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Imron Rosyadi, ST., MT. selaku dosen pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing penulisan serta memberikan dukungan sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan baik.
4. Ibu Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang juga turut serta membimbing penulisan tugas akhir dan senantiasa memberikan arahan selama penyusunan tugas akhir berlangsung.
5. Bapak Yusvardi Yusuf, ST., MT. selaku dosen pembimbing akademik yang terus memberikan pengarahan akan kegiatan perkuliahan dari semester awal hingga selesai ini.
6. Seluruh dosen dan staff di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNTIRTA yang telah memberikan ilmunya. Semoga ilmunya dapat menjadi amal jariyah yang bermanfaat.
7. Orang tua, ayah, ibu, dan keluarga yang selalu memberikan doa dan *supportnya* sampai penulisan ini selesai.

8. Teman spesial yang juga terus mendukung dan menyemangati, Khoirun Nisa Fadhilah.
9. Teman-teman yang terus menemani dan menyemangati sampai selesai tugas ini.

Saran serta kritik yang membangun untuk penulis diharapkan dapat diberikan untuk mencapai hasil tugas yang lebih baik. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi siapapun kedepannya.

Cilegon, Juli 2023

Penulis

ABSTRAK

PRODUKSI SYNGAS KAYA HIDROGEN YANG OPTIMAL PADA PROSES GASIFIKASI DENGAN MEMVARIASIKAN UAP AIR TERHADAP *MUNICIPAL SOLID WASTE (MSW)*

ELANG DAFFA SETIADJI

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Gasifikasi adalah proses konversi energi yang mengubah bahan padatan biomassa menjadi syngas melalui proses termokimia menggunakan temperatur tinggi dan udara yang stoikiometri. Pada penelitian ini digunakan sampah kota (MSW) yang diambil di daerah Kota Serang – Cilegon sebagai bahan baku proses gasifikasi. Penelitian ini berfokus pada eksperimen akan potensi produksi hidrogen pada gasifikasi yang menggunakan *steam* (uap air) sebagai *gasifying agent*. Akan dilakukan variasi rasio *steam rate* terhadap *MSW feeding rate* (S/MSW) yang diperkirakan mampu meningkatkan produksi hidrogen dan meningkatkan kualitas dari syngas yang diperoleh. Pengaruh dari rasio S/MSW pada suhu 750°C ini didapatkan pada komposisi senyawa CO akan berkurang seiring pertambahan rasio S/MSW. Untuk senyawa CO₂ volumenya terus bertambah seiring pertambahan rasio S/MSW. Sedangkan CH₄ pada awalnya mengalami penurunan volume sampai rasio 1,3, kemudian naik kembali sampai rasio 2,09. Adapun untuk senyawa H₂ didapatkan terdapat penambahan volume sampai rasio 1,3, namun turun secara perlahan pada rasio 1,6 dan 2,09. Karena demikian, komposisi syngas terbaik dimiliki oleh rasio S/MSW 1,3 karena produksi hidrogennya yang tinggi, metana yang rendah, karbon monoksida yang cukup, dan karbon dioksida yang tidak begitu tinggi. Adapun jumlah *steam* tidak mempengaruhi nilai kalor bawah (LHV) dari syngas yang dihasilkan.

Kata Kunci: *Gasifikasi, Hidrogen, MSW, Uap Air*

ABSTRACT

THE OPTIMAL HYDROGEN-RICH SYNGAS PRODUCTION IN GASIFICATION PROCESS BY VARYING STEAM TO MUNICIPAL SOLID WASTE (MSW)

ELANG DAFFA SETIADJI

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Gasification is an energy conversion process that converts solid biomass into syngas through a thermochemical process using high temperatures and stoichiometric air. In this study used municipal solid waste (msw) collected around Serang – Cilegon City as raw material for the gasification process. This research focuses on experiments on the potential for hydrogen production in gasification using steam as a gasifying agent. Variation of the steam rate to MSW feeding rate (S/MSW) ratio will be carried out which is expected to increase hydrogen production and improve the quality of the syngas obtained. The effect of the S/MSW ratio at 750°C is found in the composition of the CO compound which will decrease as the S/MSW ratio increases. For CO₂ compounds, the volume continues to increase as the S/MSW ratio increases. While CH₄ initially decreased in volume to a ratio of 1,3, then rose again to a ratio of 2,09. As for the H₂ compound, it was found that there was an increase in volume up to a ratio of 1,3, but decreased slowly at a ratio of 1,6 and 2,09. Therefore, the best syngas composition is owned by the S/MSW ratio of 1,3 due to high hydrogen production, low methane, sufficient carbon monoxide, and not so high carbon dioxide. The amount of steam does not affect the lower heating value (LHV) of the syngas produced.

Keywords: *Gasification, Hydrogen, MSW, Steam*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State of Art</i>	5
2.2 Biomassa	7
2.3 <i>Municipal Solid Waste</i> (MSW)	8
2.4 Gasifikasi	10
2.4.1 Definisi Gasifikasi	10
2.4.2 Klasifikasi Reaktor Gasifikasi	11
2.4.3 Proses Gasifikasi	13
2.4.4 Variabel yang Mempengaruhi Gasifikasi	15
2.5 <i>Synthetic Gas</i>	16
2.6 Optimasi Hidrogen pada <i>Syngas</i>	18
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	

3.1	Diagram Alir Penelitian	20
3.2	Prosedur Penelitian	21
3.3	Skema Alat Penelitian	24
3.4	Alat dan Bahan	25
3.4.1	Alat yang Digunakan	25
3.4.2	Bahan yang Digunakan	30
3.5	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Analisa <i>Proximate</i> dan <i>Ultimate</i> MSW	31
4.2	Hasil Pengujian Syngas Gasifikasi MSW	33
4.2.1	Data Produksi Hidrogen (H ₂)	35
4.2.2	Data Produksi Karbon Monoksida (CO)	36
4.2.3	Data Produksi Karbon Dioksida (CO ₂)	36
4.2.4	Data Produksi Metana (CH ₄)	36
4.3	Hasil Produksi Zat Lain Gasifikasi MSW	38
4.3.1	Data Produksi Arang (char)	38
4.3.2	Data Produksi Tar	38
4.4	Analisa Data	39
4.4.1	Analisa Data Syngas	39
4.4.2	Analisa Data Zat Produk Lain	42
4.5	Analisa <i>Lower Heating Value</i> Syngas	43

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	46

DAFTAR PUSTAKA	xi
-----------------------------	----

LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan teknologi di zaman yang modern ini membuat perkembangan teknologi semakin maju. Perkembangan teknologi ini berimbas terhadap perkembangan pembaharuan energi. Indonesia masih bergantung pada energi yang tidak terbarukan seperti gas bumi. Bila gas bumi tersebut digunakan secara terus-menerus maka gas bumi akan habis. Kelangkaan gas bumi dapat mengakibatkan melonjaknya harga minyak mentah dari waktu ke waktu. Indonesia yang merupakan salah satu negara yang seringkali mengimpor minyak menjadi makin terbebani. Sehingga perlu dikurangi ketergantungan terhadap bahan bakar gas bumi tersebut, salah satunya dengan cara mengembangkan bahan bakar alternatif ramah lingkungan seperti gasifikasi. Gasifikasi merupakan salah satu metode di antara metode alternatif lain yang digunakan untuk memperoleh bahan bakar. Gasifikasi merupakan proses termokimia yang mengubah biomassa padat menjadi *syngas* dengan memberikan sejumlah energi panas dan pemampatan udara.

Gas hidrogen sudah sangat umum diketahui sebagai alternatif akan energi terbarukan yang dapat menyelesaikan masalah keterbatasan energi yang ramah lingkungan. Pemanfaatan dari hidrogen ini dapat berfungsi sebagai sumber, penyimpanan, maupun pembawa energi. Cara memperoleh hidrogen yang saat ini sebagian besar diketahui berasal dari bahan bakar fosil (seperti gas alam). Hidrogen dapat dilepaskan dari molekul hidrokarbonnya melalui reformasi bahan bakar fosil yang mana prosesnya dinamakan *Steam Reforming*. Secara sederhana, proses dari *steam reforming* ini yaitu methane (CH_4) yang ada pada gas alam diekstrak dan direaksikan dengan uap agar menghasilkan hidrogen.

Metode lain yang dapat dilakukan untuk memperoleh gas hidrogen adalah melalui proses gasifikasi yang memanfaatkan biomassa sebagai sumbernya.

Pada proses gasifikasi, terdapat beberapa penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan gas hidrogen, salah satunya seperti dengan memvariasikan suhu yang diberikan pada biomassa, yaitu semakin besar temperature proses gasifikasi, semakin besar volume gas dan unsur hidrogen yang terkandung (Sabitha et al., 2020). Variasi *Equivalence Ratio* (ER) juga dapat mempengaruhi kadar gas hidrogen dalam proses gasifikasi, yang mana juga bergantung pada temperature tertentu.

Biomassa sangat baik digunakan sebagai alternatif bahan bakar karena sifatnya yang dapat diperbaharui secara terus menerus, mudah didapatkan, dan ramah lingkungan. Salah satu di antaranya adalah sampah perkotaan atau *Municipal Solid Waste* (MSW) yang merupakan limbah yang umumnya terdiri atas sisa makanan, kertas, kayu, plastik, besi, kaca, tekstil, maupun karet. Komposisi MSW sendiri tergantung atas hasil produksi suatu daerah atau wilayah tertentu. Jumlah limbah kota (MSW) akan terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan industri suatu negara, sehingga diperlukan pengelolaan akan MSW guna mengurangi terjadinya efek rumah kaca dan konsekuensi lainnya yang akan berdampak pada perubahan iklim.

Terdapat banyak peneliti yang memberi pernyataan bahwa gasifikasi biomassa merupakan metode yang paling menjanjikan dalam pembuangan limbah (Ramos et al., 2018). Gasifikasi menjadi metode yang paling tepat dalam mengurangi MSW, khususnya beberapa bahan MSW yang dapat didaur ulang namun tidak mudah dibakar untuk menghasilkan gas dengan nilai kalor lebih tinggi yang mana sesuai untuk proses gasifikasi biomassa (Couto et al., 2015). *Syngas* yang dihasilkan pada proses gasifikasi antara lain seperti CO, H₂, dan CH₄ yang nantinya dapat dijadikan sebagai produk bahan bakar (Reed & Das, 1988).

Terdapat metode lainnya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi hidrogen adalah dengan mengembangkan media gasifikasi seperti memberikan variasi rasio agen uap yang diberikan. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Tavares et al (2019) bahwa ketika uap digunakan sebagai *gasifying agent*, peningkatan uap yang dibandingkan dengan MSW pada proses gasifikasi akan menghasilkan *syngas* dengan hidrogen (H₂) yang lebih

banyak pula. Untuk itu pada penelitian kali ini akan dilakukan variasi rasio uap dengan MSW yang akan menggunakan suhu terbaik berdasarkan penelitian yang sudah ada sebelumnya (Tavares et al., 2019). Dengan adanya penelitian ini, diharapkan akan mendapatkan variasi rasio uap terbaik yang dapat dijadikan landasan dalam peningkatan produksi hydrogen pada proses gasifikasi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapula berdasarkan latar belakang penelitian yang diangkat di atas, didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana cara mendapatkan nilai rasio uap air terhadap *Municipal Solid Waste* (MSW) atau *S/MSW ratio* pada alat pengujian gasifikasi yang digunakan?
2. Bagaimana karakteristik dari *syngas* yang dihasilkan dari proses gasifikasi biomassa *Municipal Solid Waste* (MSW) berdasarkan komposisi *syngas* yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk menentukan cara mendapatkan nilai rasio uap air terhadap *Municipal Solid Waste* (MSW) atau *S/MSW ratio* pada alat pengujian gasifikasi yang digunakan.
2. Untuk mengetahui karakteristik dari *syngas* yang dihasilkan dari proses gasifikasi biomassa *Municipal Solid Waste* (MSW) berdasarkan komposisi *syngas* yang dihasilkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Selanjutnya, dalam penelitian ini tentu terdapat manfaat yang diharapkan dapat membantu penelitian kedepannya. Berikut merupakan manfaat dari penelitian ini.

1. Didapatkan *syngas* yang berasal dari proses gasifikasi yang dapat dianalisa karakteristiknya untuk bahan bakar alternatif.
2. Dapat dilakukan penelitian lanjutan serta dikembangkan lagi akan peningkatan produksi hidrogen dengan berbagai metode.
3. Membantu mengurangi penggunaan gas bumi agar beralih pada pemanfaatan *municipal solid waste* (MSW) sebagai sumber energi terbarukan.

1.5 Batasan Masalah

Selanjutnya adalah batasan masalah dari penelitian ini yang dibuat agar dapat mengarahkan penelitian sesuai dengan tujuannya. Berikut merupakan batasan masalah dari penelitian ini.

1. Biomassa yang digunakan dalam proses gasifikasi adalah *Municipal Solid Waste* (MSW) atau sample sampah kota yang diambil di sekitar daerah Cilegon – Serang. Persentase akan jenis komposisi sampah yang digunakan diambil berdasarkan UPTD Pengelolaan Sampah Kota Serang Tahun 2022.
2. Dilakukan variasi rasio uap air dengan biomassa, yaitu MSW (*steam to MSW*), guna didapatkan rasio terbaik untuk proses gasifikasi biomassa.
3. Akan dianalisa komposisi dari gas yang dihasilkan berdasarkan kandungan gas yang ada khususnya hidrogen pada gas tersebut.
4. Produk sampingan selain gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi seperti tar dan arang tidak dianalisa komposisinya, namun hanya dianalisa berdasarkan massa dari produk tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, B., Dutta, A., & Basu, P. (2010). An investigation into steam gasification of biomass for hydrogen enriched gas production in presence of CaO. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(4), 1582–1589. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.11.109>
- Ariesmayana, A., Dwirani, F. (2018). POTENSI KADAR AIR SAMPAH SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF BAHAN BAKAR FOSIL DI TPA CILOWONG. *Jurnal Kebijakan Pembangunan Daerah*, 2(2), 93–103. <https://pdfs.semanticscholar.org/ea94/cd4f0c6ce2f6a5bf2150279b6104d88c5f3f.pdf>
- Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory*. Academic press.
- Cheng, Y. W., Lee, Z. S., Chong, C. C., Khan, M. R., Cheng, C. K., Ng, K. H., & Hossain, S. S. (2019). Hydrogen-rich syngas production via steam reforming of palm oil mill effluent (POME) – A thermodynamics analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 20711–20724. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.05.119>
- Couto, N., Silva, V., Monteiro, E., Teixeira, S., Chacartegui, R., Bouziane, K., Brito, P. S. D., & Rouboa, A. (2015). Numerical and experimental analysis of municipal solid wastes gasification process. *Applied Thermal Engineering*, 78, 185–195. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.036>
- Damanhuri, E., Handoko, W., & Padmi, T. (2014). Municipal solid waste management in Indonesia. *Municipal Solid Waste Management in Asia and the Pacific Islands: Challenges and Strategic Solutions*, 139–155.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Serang. (2022). *Profil UPTD Pengolahan Sampah Kota Serang TPSA Cilowong 2022.pdf*. Pemerintah Kota Serang.
- Dwirani, F., & Ariesmayana, A. (2020). Municipal solid waste composition in final disposal area of Serang City Banten Province. *Journal of Physics: Conference Series*, 1469(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1469/1/012131>
- El-Nagar, R. A., & Ghanem, A. A. (2019). *Syngas production, properties, and its*

- importance* (Vol. 2). IntechOpen London, UK.
- Febriyanto, R., Lingkungan, S. I., Indonesia, U., Gedung, S., & Lt, C. F. K. G. (2017). *ANALISIS SISTEM PENGELOLAAN SAMPAH KOTA (STUDI KASUS : KOTA SERANG)*.
- Goldsmith, J. R., & Landaw, S. A. (1968). Carbon monoxide and human health. *Science*, 162(3860), 1352–1359. <https://doi.org/10.1126/science.162.3860.1352>
- Hariyanto, R., Aliran, K., Terhadap, U., Biomassa, P., & Kelapa, C. (2012). *Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Reaksi*. 2, 847–856.
- Hutabarat, L. D. (2012). Implementasi Pengukuran Tar Pada Biomass. In *Universitas Indonesia*.
- James, A. M., Yuan, W., Boyette, M. D., & Wang, D. (2015). The effect of air flow rate and biomass type on the performance of an updraft biomass gasifier. *BioResources*, 10(2), 3615–3624. <https://doi.org/10.15376/biores.10.2.3615-3624>
- Jiang, F., Zhang, M., Liu, B., Xu, Y., & Liu, X. (2017). Insights into the influence of support and potassium or sulfur promoter on iron-based Fischer-Tropsch synthesis: Understanding the control of catalytic activity, selectivity to lower olefins, and catalyst deactivation. *Catalysis Science and Technology*, 7(5), 1245–1265. <https://doi.org/10.1039/c7cy00048k>
- Johnson, F. X., & Rosillo-calle, F. (2007). *AND INTERNATIONAL Challenges and Opportunities for the EU and Southern Africa* (Issue April).
- Li, J., Liu, J., Liao, S., Zhou, X., & Rong, Y. (2010). Syn-gas production from catalytic steam gasification of municipal solid wastes in a combined fixed bed reactor. *Proceedings - 2010 International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application, ISDEA 2010*, 2, 530–534. <https://doi.org/10.1109/ISDEA.2010.395>
- Li, J., Pan, L., Suvarna, M., & Wang, X. (2021). Machine learning aided supercritical water gasification for H₂-rich syngas production with process optimization and catalyst screening. *Chemical Engineering Journal*, 426(March), 131285. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131285>
- Mazzoni, L., Ahmed, R., & Janajreh, I. (2017). Plasma Gasification of Two Waste

- Streams: Municipal Solid Waste and Hazardous Waste from the Oil and Gas Industry. *Energy Procedia*, 105, 4159–4166.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.882>
- Nurulhuda, N. (2022). *PENGARUH VARIASI LAJU ALIR UDARA TERHADAP EFISIENSI TERMAL PADA PROSES GASIFIKASI DENGAN SISTEM UPDRAFT= EFFECT OF AIR FLOW RATE VARIATIONS ON THERMAL EFFICIENCY IN GASIFICATION PROCESS WITH UPDRAFT SYSTEM*. Universitas Hasanuddin.
- Ramos, A., Monteiro, E., Silva, V., & Rouboa, A. (2018). Co-gasification and recent developments on waste-to-energy conversion: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(July 2017), 380–398.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.025>
- Reed, T. B., & Das, A. (1988). *Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems*. Biomass Energy Foundation.
- Rosillo-Calle, F., & Woods, J. (2012). *The biomass assessment handbook* (Vol. 4). Taylor & Francis.
- Ruchjana, B. N., Falah, A. N., Rusyaman, E., Matematika, D., Padjadjaran, U., Geologi, D., Teknik, F., Sekolah, G., Teknologi, T., & Indonesia, M. (2019). Fixed Carbon Estimation As Variables in Coal Quality By Means Ordinary Point Kriging Method Using R Programming. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 14(2), 127–141.
<https://pdfs.semanticscholar.org/1aae/358e8890b703d1f26d83a32cd95659e997c1.pdf>
- Sabitah, A., Raliannoor, R., & Sulhan, M. (2020). Peningkatan Hasil Hidrogen Pada Proses Gasifikasi Tandan Sawit. *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 54–60.
<http://je.politala.ac.id/index.php/JE/article/view/116>
- Sansaniwal, S. K., Rosen, M. A., & Tyagi, S. K. (2017). Global challenges in the sustainable development of biomass gasification: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(May), 23–43.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.215>
- Shayan, E., Zare, V., & Mirzaee, I. (2018). Hydrogen production from biomass gasification; a theoretical comparison of using different gasification agents.

- Energy Conversion and Management*, 159(August 2017), 30–41.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.096>
- Stendardo, S., Foscolo, P. U., Nobili, M., & Scaccia, S. (2016). High quality syngas production via steam-oxygen blown bubbling fluidised bed gasifier. *Energy*, 103, 697–708. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.011>
- Suhendi, E., Paradise, G. U., & Priandana, I. (2017). Pengaruh Laju Alir Udara Dan Waktu Proses Gasifikasi Terhadap Gas Producer Limbah Tangkai Daun Tembakau Menggunakan Gasifier Tipe Downdraft. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5(2), 45–53. <https://doi.org/10.15294/jbat.v5i2.6054>
- Tavares, R., Ramos, A., & Rouboa, A. (2019). A theoretical study on municipal solid waste plasma gasification. *Waste Management*, 90, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.051>
- Visconti, C. G., Martinelli, M., Falbo, L., Infantes-Molina, A., Lietti, L., Forzatti, P., Iaquaniello, G., Palo, E., Picutti, B., & Brignoli, F. (2017). CO₂ hydrogenation to lower olefins on a high surface area K-promoted bulk Fe-catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 200, 530–542. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.07.047>
- Winter, F., Prah, M. E., & Hofbauer, H. (1997). Temperatures in a fuel particle burning in a fluidized bed: The effect of drying, devolatilization, and char combustion. *Combustion and Flame*, 108(3), 302–314. [https://doi.org/10.1016/S0010-2180\(96\)00140-X](https://doi.org/10.1016/S0010-2180(96)00140-X)