

PRODUKSI SYNGAS DARI LIMBAH BATANG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS DENGAN PENAMBAHAN KATALIS Ni-Cu

Shintia Seftiani¹, Muhammad Yerizam², Erwana Dewi³

Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri

Sriwijaya, Jalan Sriwijaya Negara Bukit Besar, Palembang

E-mail: shintiaseftianii@gmail.com

Abstract

Indonesia's natural gas reserves are declining, while demand continues to increase due to population growth and industrial expansion. To address this challenge, oil palm biomass, which is abundantly available and renewable, can be utilized as an alternative feedstock for syngas production through pyrolysis with catalytic modification. This study aims to produce gaseous fuel from oil palm stem waste, determine the optimum Ni-Cu catalyst ratio for syngas generation, and analyze the resulting syngas composition. The experimental results revealed that the highest methane concentration (16.0%) was obtained at a Ni:Cu ratio of 1:5, indicating that Cu plays a significant role in promoting methane formation. Conversely, the highest CO concentration (30.2%) was achieved at a Ni:Cu ratio of 4:1, reflecting the dominant influence of Ni in CO production via thermal decomposition. CO₂ concentrations increased with higher Cu ratios due to enhanced biomass decarboxylation. The flame test indicated that syngas with a higher Ni ratio produced a blue flame, whereas syngas with a higher Cu ratio generated a yellow flame.

Keywords: Syngas, Oil Palm Trunk, Pyrolysis, Ni-Cu Catalyst

Abstrak

Cadangan gas alam Indonesia terus menurun, sementara permintaan semakin meningkat akibat pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, biomassa kelapa sawit yang melimpah dan terbarukan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif untuk menghasilkan syngas melalui proses pirolisis dengan penambahan katalis. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan bahan bakar gas dari limbah batang kelapa sawit, menentukan rasio optimum katalis Ni-Cu dalam produksi syngas, serta menganalisis komposisi syngas yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi metana (CH₄) tertinggi sebesar 16,0% diperoleh pada rasio Ni:Cu = 1:5, menandakan bahwa Cu berperan penting dalam meningkatkan pembentukan metana. Sebaliknya, konsentrasi CO tertinggi sebesar 30,2% diperoleh pada rasio Ni:Cu = 4:1, yang menunjukkan peran dominan Ni dalam menghasilkan CO melalui dekomposisi termal. Kadar CO₂ meningkat seiring bertambahnya rasio Cu akibat proses dekarboksilasi biomassa yang lebih dominan. Uji nyala api menunjukkan bahwa syngas dengan rasio Ni tinggi menghasilkan nyala biru sedangkan syngas dengan rasio Cu tinggi menghasilkan nyala kuning.

Kata Kunci: Syngas; Batang Kelapa Sawit; Pirolisis; Katalis Ni-Cu

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan produsen kelapa sawit terbesar di dunia dengan luas areal perkebunan mencapai 16,83 juta hektar dan produksi sebesar 46,82 juta ton pada tahun 2022 [1]. Namun, sebagian besar limbah biomassa kelapa sawit, khususnya batang kelapa sawit, masih belum dimanfaatkan secara optimal [2]. Batang kelapa sawit terdiri dari bahan lignoselulosa dan memiliki potensi untuk menjadi bahan baku terbarukan [3]. Konversi limbah ini menjadi syngas melalui proses pirolisis dengan penambahan katalis merupakan salah satu alternatif yang menjanjikan untuk pengembangan energi terbarukan.

Syngas atau gas sintesis terdiri dari komponen utama karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂), serta kandungan tambahan seperti metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), tar organik, dan senyawa anorganik [4]. Syngas memiliki nilai strategis karena dapat diproses lebih lanjut menjadi berbagai produk seperti metanol, etanol, amonia, asam asetat, dimetil eter (DME), maupun digunakan sebagai bahan bakar gas rumah tangga [5].

Pirolisis adalah suatu proses di mana partikel bahan organik atau biomassa dipanaskan secara cepat pada suhu antara 400-600 °C tanpa adanya oksigen dalam reaksi [6]. Dibandingkan metode termokimia lain, pirolisis memiliki keunggulan berupa kondisi operasi pada suhu relatif rendah dan tekanan atmosfer sehingga lebih ekonomis dan mudah dioperasikan [7]. Komposisi syngas dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu reaksi, jenis reaktor, karakteristik biomassa, serta penggunaan katalis [8]. Proses pirolisis dapat meningkatkan efisiensi konversi biomassa menjadi bahan bakar gas, sedangkan katalis berperan dalam meningkatkan kualitas syngas yang dihasilkan [9]. Syngas hasil pirolisis terdiri dari CO₂, CO, CH₄, dan H₂ memiliki kandungan yang sama dengan hasil syngas gasifikasi. Hanya saja proses pembentukannya berbeda, yaitu pada proses pirolisis dilakukan tanpa adanya oksigen, sehingga tidak mengakibatkan adanya reduksi dan oksidasi. Pada *active pyrolysis stage* terjadi pembentukan gas CO₂ dan CO yang disebabkan oleh pirolisis primer dan ditandai dengan mulai terdegradasinya hemiselulosa dan selulosa pada kelapa sawit, sedangkan pada *passive pyrolysis stage* barulah terbentuk gas CO karena degradasi lignin oleh pirolisis sekunder. Pada suhu rendah (150–350 °C) hemiselulosa dan selulosa mudah terdegradasi dan jika kandungan hemiselulosa dan selulosa habis maka gas CO₂ yang dihasilkan akan berhenti. Sedangkan degradasi lignin terjadi pada suhu yang lebih tinggi sehingga senyawa gas CH₄ dan H₂ akan dihasilkan [10]. Katalis bimetalik adalah jenis katalis yang mengandung dua logam aktif, yang sering dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi dan selektivitas dalam reaksi katalitik. Kombinasi dua logam ini dapat menciptakan efek sinergis yang lebih optimal dibandingkan dengan katalis yang hanya mengandung satu jenis logam [11]. Beberapa jenis logam metalik yang bisa digunakan sebagai katalis yaitu Cu, Co, Cd, Ni, Mo, Fe, Pt, Pd [12]. Logam transisi yang akan dibahas pada penelitian ini adalah logam Ni dan Cu. Pirolisis katalitik terbukti dapat menurunkan kebutuhan energi, mempercepat waktu reaksi, serta meningkatkan kualitas syngas dibandingkan proses non-katalitik [13].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 4 Bulan dimulai dari April sampai Juli 2025. Penelitian dan analisa hasil produksi dilakukan di laboratorium teknik kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Bahan Yang digunakan adalah: Limbah batang kelapa sawit yang telah kering, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Al_2O_3 , Aqudes. Sedangkan alat yang digunakan adalah Reaktor pirolisis berbasis tangki 1,5 kg dengan bahan bakar listrik.



Gambar 1. Alat Pirolisis

Prosedur Percobaan

Persiapan Bahan

Batang kelapa sawit dicacah berukuran kecil kemudian dikeringkan selama ± 2 minggu di bawah sinar matahari untuk mengurangi kadar air.

Aktivasi Katalis

Katalis Ni-Cu dibuat melalui metode impregnasi basah dengan memasukkan prekursor logam (Ni dan Cu) ke dalam material penyangga Al_2O_3 . Sampel dikeringkan pada suhu 110°C selama 3–4 jam, kemudian dikalsinasi dalam furnace pada suhu 600°C selama 4 jam untuk membentuk oksida logam aktif (NiO dan CuO).

Proses Pirolisis

Sebanyak 500 g bahan baku dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, ditambahkan katalis Ni-Cu sesuai variasi rasio. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 500°C dengan bantuan pompa vakum. Gas hasil pirolisis dinyalakan untuk memperoleh nyala api konstan, kemudian dicatat warna, panjang lidah api, dan waktu pembakaran. Sampel syngas dikumpulkan menggunakan *urine bag*. Proses diulang untuk setiap variasi rasio katalis.

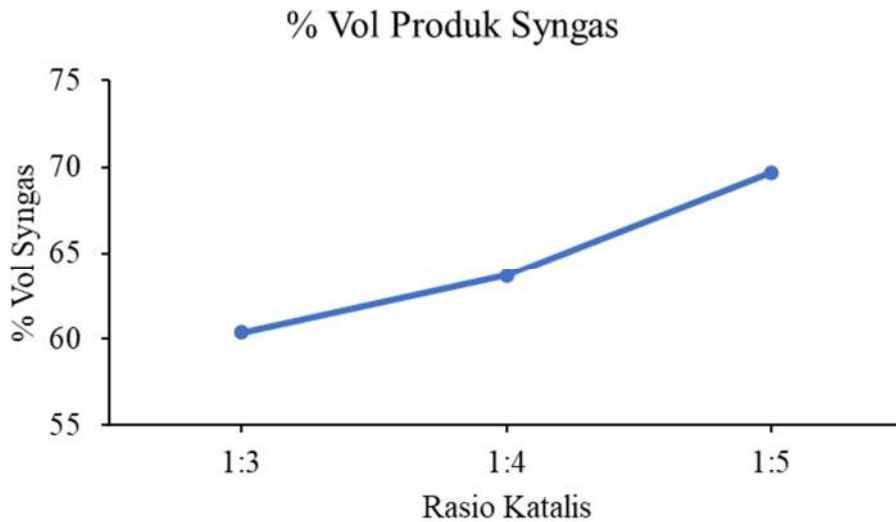
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisa produk dilakukan dengan alat *multi gas detector analyzer*, sehingga didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil analisa produk syngas

Produk	Rasio Ni:Cu	CH ₄ (%)	H ₂ S (%)	CO (%)	CO ₂ (%)	Total (%)
1	1:3	12.4	5.0	13.1	30.2	60,36
2	1:4	14.1	5.6	8.9	35.0	63,68
3	1:5	16.0	6.4	6.1	40.9	69,7

Grafik Rasio Katalis Terhadap % Vol Produk Syngas



Gambar 2. % Vol Produk Syngas

Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa peningkatan rasio Cu dalam katalis Ni-Cu mendorong peningkatan pembentukan senyawa CH₄, H₂S, dan CO₂, namun menurunkan produksi gas CO.

Peningkatan rasio Cu dalam katalis Ni-Cu secara signifikan meningkatkan % vol total syngas yang dihasilkan dalam proses pirolisis batang kelapa sawit. Berdasarkan data yang diberikan, peningkatan rasio Cu dari 1:3 ke 1:5 mengakibatkan kenaikan % vol CH₄ dari 12,4 % menjadi 16,0 % dan total syngas dari 60,36 % menjadi 69,7 %. Ini dapat dijelaskan melalui peran spesifik tembaga (Cu) dalam reaksi pirolisis. Cu dikenal memiliki aktivitas tinggi dalam mendorong reaksi dekarboksilasi dan dekarbonisasi, yaitu reaksi yang mengubah senyawa-senyawa organik kompleks menjadi senyawa gas sederhana seperti CH₄ dan CO₂. Selain itu, Cu juga lebih selektif terhadap reaksi pemutusan ikatan C-C dan C-O tanpa terlalu banyak mengaktifkan reaksi pembentukan char, sehingga lebih banyak menghasilkan fase gas. Hal ini dapat dijelaskan oleh peran Cu sebagai promotor yang meningkatkan aktivitas dan selektivitas katalis Ni dalam konversi gas. Cu mampu memperbaiki dispersi logam aktif, meningkatkan luas permukaan katalis, serta memfasilitasi reaksi metanasi dan *water gas shift* yang menghasilkan peningkatan CH₄ dan CO₂ secara signifikan, sementara CO terkonversi lebih baik [14]. Selain itu, Cu juga mendukung kestabilan katalis dengan menghambat pembentukan karbon (*coking*) yang menurunkan aktivitas katalis selama

proses reaksi. Namun, peningkatan Cu juga meningkatkan pelepasan H₂S karena Cu kurang tahan terhadap senyawa sulfur sehingga mempercepat pembentukan gas H₂S [15]. Secara keseluruhan, peningkatan rasio Cu dalam katalis Ni-Cu memperkuat sinergi antara Ni dan Cu, meningkatkan efisiensi reaksi pembentukan syngas sehingga total %vol syngas yang dihasilkan bertambah seiring dengan peningkatan rasio Cu. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Cu berperan sebagai katalis promotif dalam sistem Ni-Cu, yang ketika digunakan dalam rasio lebih tinggi, secara efektif meningkatkan efisiensi konversi bahan baku menjadi gas, memperkaya kandungan CH₄ dan CO₂, serta memaksimalkan hasil syngas dari proses pirolisis biomassa.

Kemudian dilakukan uji nyala api, untuk menganalisa warna api yang dihasilkan dari produksi syngas.



Api berwarna Biru



Api berwarna Biru Kuning

Gambar 3. Hasil Uji nyala Api

Gas hasil pirolisis yang kaya metana (CH₄) dan karbon monoksida (CO) memiliki nilai kalor tinggi sehingga menghasilkan nyala api dengan tinggi dan suhu lebih besar. Warna api biru mengindikasikan pembakaran sempurna metana, sedangkan warna biru-kuning menunjukkan kemungkinan pembakaran tidak sempurna akibat keberadaan senyawa aromatik atau tar ringan [16]. Warna api biru disebabkan pembakaran sempurna gas ringan seperti metana, sedangkan warna oranye dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna atau keberadaan partikel karbon padat/tar. Variasi rasio katalis juga berpengaruh terhadap karakteristik nyala. Peningkatan rasio Ni menghasilkan nyala api biru yang lebih tinggi dengan suhu lebih panas, namun durasinya relatif singkat. Hal ini menunjukkan bahwa Ni berperan dalam meningkatkan energi pembakaran dan efisiensi konversi gas mudah terbakar. Sebaliknya, peningkatan rasio Cu menghasilkan nyala api dengan durasi lebih lama namun suhu lebih rendah serta warna kuning-oranye, yang menandakan pembakaran kurang sempurna. Cu juga diketahui menghasilkan emisi spektral khas (kuning/hijau) sehingga menurunkan intensitas pembakaran dibandingkan Ni [17].

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan bahan bakar gas dari limbah batang kelapa sawit dengan proses pirolisis dengan nyala api yang berwarna biru, stabil dan bertahan lama nyalanya. Dengan hasil analisa komposisi syngas yang didapatkan dengan variasi rasio katalis Ni-Cu menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap komposisi syngas yang

dihasilkan pada proses pirolisis. Pada rasio Ni-Cu 1:3, diperoleh kandungan CH₄ sebesar 12,4 %, CO sebesar 13,1 %, CO₂ sebesar 30,2 %, dan H₂S sebesar 5,0 %, dengan total syngas sebesar 60,36 %. Ketika rasio Cu ditingkatkan menjadi 1:4, kandungan CH₄ meningkat menjadi 14,1 %, H₂S menjadi 5,6 %, CO menurun menjadi 8,9 %, dan CO₂ meningkat menjadi 35,0 %, sehingga total syngas mencapai 63,68 %. Pada rasio tertinggi, yaitu 1:5 kandungan CH₄ mencapai 16,0 %, H₂S meningkat menjadi 6,4 %, CO terus menurun hingga 6,1 %, dan CO₂ mencapai puncaknya di 40,9 %, dengan total syngas tertinggi sebesar 69,7 %.

Referensi

- [1] Sekretariat Jendral. (2024). *Outlook Komoditas Perkebunan Kelapa Sawit 2024*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- [2] Irawati, D., Lukmandaru, G., Sulisty, J., Sunarta, S., Listyanto, T., Widada, J., Supriyatno, N., & Rizal, Y. (2020). Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Biomassa Sawit Ramah Lingkungan di PT Semen Baturaja. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (Indonesian Journal of Community Engagement)*, 6(4). <https://doi.org/10.22146/jpkm.44874>
- [3] Nabila, R., Hidayat, W., Haryanto, A., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Lee, S., Kim, S., Kim, S., Chun, D., Choi, H., Im, H., Lim, J., Kim, K., Jun, D., Moon, J., & Yoo, J. (2023). Oil palm biomass in Indonesia: Thermochemical upgrading and its utilization. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 176). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113193>
- [4] Ciccone, B., Murena, F., Ruoppolo, G., Urciuolo, M., & Brachi, P. (2024). Methanation of syngas from biomass gasification: Small-scale plant design in Aspen Plus. *Applied Thermal Engineering*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122901>
- [5] Arita, S., Nazarudin, N., Rahmiyati, L., Komariah, L. N., & Alfernando, O. (2020). Pyrolysis of empty fruit bunches to bio-oil using combination of ZSM-5 and spent FCC catalysts. *AIP Conference Proceedings*, 2242. <https://doi.org/10.1063/5.0007866>
- [6] Agustina, P., Perotonika, E., Rahinaya, W., Bow, Y., & Aswan, A. (2023). Gasifikasi Crossdraft Cangkang Kelapa Sawit Ditinjau Dari Variasi Massa Filter Terhadap Produk Syngas Yang Dihasilkan. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 3(2), 65-72. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.274>
- [7] Guo, F., Liang, S., Zhao, X., Jia, X., Peng, K., Jiang, X., & Qian, L. (2019). Catalytic reforming of biomass pyrolysis tar using the low-cost steel slag as catalyst. *Energy*, 189, 116161. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2019.116161>
- [8] Pandey, B., Prajapati, Y. K., & Sheth, P. N. (2019). Recent progress in thermochemical techniques to produce hydrogen gas from biomass: A state of the art review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(47), 25384-25415. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2019.08.031>

- [9] Waluyo, J., Putra Perkasa, A., & Ramadhana, D. (2019). *Pirolisis Sampah Plastik HDPE sebagai Alternatif Pengganti Kerosin/Gasolin dengan Menggunakan Katalis Zeolit Alam*. <http://equilibrium.ft.uns.ac.id>
- [10] Waluyo, J., Amal, R. R. I., Yudistira, A. A., Mustofa, H., & Maulana, M. L. (2022). Pengaruh Fly Ash sebagai Katalis pada Proses Pirolisis Pelet Sekam Padi terhadap Karakteristik Termal dan Produksi Synthetic Gas (Syngas). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(2), 148. <https://doi.org/10.20961/alchেমy.18.2.55193.148-157>
- [11] Sarwono, R., Tursiloadi, S., & Sembiring, K. C. (2015). Morfologi Dan Aktifitas Katalis Logam Cu Dengan Penyangga Mono-Dan Bimetalik Oksida Untuk Konversi Gliserol Menjadi Propandiol. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 16(2), 76–82. <http://jusami.batan.go.id>
- [12] Sun, L., Gao, X., Ning, X., Qiu, Z., Xing, L., Yang, H., Li, D., Dou, J., & Meng, Y. (2023). Cobalt-nickel bimetal carbon sphere catalysts for efficient hydrolysis of sodium borohydride: The role of synergy and confine effect. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(9), 3413–3428. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2022.10.214>
- [13] Ghoneim, S. A., El-Salamony, R. A., & El-Temtamy, S. A. (2016). Review on Innovative Catalytic Reforming of Natural Gas to Syngas. *World Journal of Engineering and Technology*, 04(01), 116–139. <https://doi.org/10.4236/wjet.2016.41011>
- [14] Li, B., Xu, Z., Jing, F., Luo, S., Wang, N., & Chu, W. (2016). Improvement of catalytic stability for CO₂ reforming of methane by copper promoted Ni-based catalyst derived from layered-double hydroxides. *Journal of Energy Chemistry*, 25(6), 1078–1085. <https://doi.org/10.1016/J.JEACHEM.2016.11.001>
- [15] Huang, S., Xu, H., Li, H., Guo, Y., Sun, Z., Du, Y., Li, H., Zhang, J., Pang, R., Dong, Q., & Zhang, S. (2021). Preparation and characterization of char supported NiCu nanoalloy catalyst for biomass tar cracking together with syngas-rich gas production. *Fuel Processing Technology*, 218, 106858. <https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2021.106858>
- [16] Wang, W., Shao, W., Sun, Z., Zhang, X., Liang, Y., Zhou, Y., Liu, S., & Su, K. (2025). Evaluating the pyrolysis characteristics and gas release patterns to predict early fire warnings in coal mine conveyor belts. *Journal of Industrial Safety*, 2(2), 117–132. <https://doi.org/10.1016/J.JINSE.2025.04.004>
- [17] Kumar A, Mohammed AAA, Saad MAHS, Al-Marri MJ. Effect of nickel on combustion synthesized copper/fumed-SiO₂ catalyst for selective reduction of CO₂ to CO. *Int J Energy Res*. 2022; 46: 441–451. <https://doi.org/10.1002/er.6586>