

Analisis Pengaruh Temperatur dan Rasio Air–Minyak terhadap Karakteristik Nyala pada Konversi Termal Minyak Jarak

Muhammad Agus Sahbana^{1*}, Agus Sudibyo¹, I Nyoman Susipta²,
Maulana Abdul Rahman²

¹Program Studi Teknik Mesin Universitas Gajayana, Malang

²Program Studi Sistem Informasi Universitas Gajayana, Malang

*E-mail Penulis: sahbana@unigamalang.ac.id

Abstrak

Dalam proses konversi termal minyak jarak (*Jatropha curcas* L.) melalui pemanasan langsung tanpa katalis, pengaruh temperatur dan rasio air-ke-minyak terhadap karakteristik nyala dipelajari dalam penelitian ini. Minyak jarak digunakan sebagai bahan baku, dengan rasio air-ke-minyak 1:1 dan 2:1, dan suhu operasi antara 200 dan 400 derajat Celcius. Untuk menganalisis karakteristik nyala, rekaman video nyala api pada ujung pipa reaksi dan ekstraksi frame representatif digunakan. Komposisi warna merah, kuning, dan biru digunakan untuk menunjukkan hubungan antara spesies hasil reaksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perilaku nyala sangat dipengaruhi oleh temperatur dan rasio air-minyak. Dalam rasio satu ke satu, intensitas relatif warna biru meningkat secara signifikan dan mencapai kondisi paling dominan pada 350 °C, menunjukkan kecenderungan yang lebih stabil untuk menghasilkan hidrogen. Di sisi lain, dalam rasio dua ke satu, intensitas relatif warna biru lebih rendah dan cenderung menurun pada temperatur tinggi, menunjukkan dominasi proses pirolisis dan pembakaran tidak sempurna. Penelitian ini memberikan pemahaman awal tentang bagaimana temperatur, rasio campuran, dan karakteristik nyala berpengaruh pada konversi termal minyak jarak. Ini juga berfungsi sebagai dasar untuk pengembangan metode untuk membuat hidrogen berbasis minyak nabati.

Kata Kunci : hidrogen, karakteristik nyala, konversi termal, minyak jarak, temperature.

Abstrac

This study aims to analyze the effect of temperature and water–oil ratio on flame characteristics during the thermal conversion of *Jatropha curcas* oil through a direct heating method without a catalyst. *Jatropha* oil was used as the feedstock with water–oil ratios of 1:1 and 2:1, and operating temperatures ranging from 200 to 400 °C. Flame characteristics were evaluated using visual analysis by recording the flame at the reactor outlet and extracting representative frames. The composition of flame colors, namely red, yellow, and blue, was used as a relative indicator of reaction products, particularly the tendency of hydrogen formation. The results show that both temperature and water–oil ratio significantly influence flame behavior. At a 1:1 water–oil ratio, the relative intensity of the blue flame increased markedly and reached its highest dominance at 350 °C, indicating a more stable tendency toward hydrogen formation. In contrast, at a 2:1 ratio, the blue flame intensity remained relatively low and tended to decrease at higher temperatures, suggesting the dominance of pyrolysis and incomplete combustion processes. This study provides preliminary insight into the relationship between temperature, mixture ratio, and flame characteristics in the thermal conversion of *Jatropha* oil and may serve as a basis for further development of hydrogen production technologies based on vegetable oils.

Keywords: hydrogen, flame characteristics, thermal conversion, *Jatropha* oil, temperature.

1. PENDAHULUAN

Dengan pertumbuhan industri dan transportasi di seluruh dunia, kebutuhan energi terus meningkat, meningkatkan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Kondisi ini menimbulkan masalah strategis karena karakteristik bahan bakar fosil yang tidak terbarukan serta fluktuasi harga minyak di seluruh dunia, yang keduanya dapat mengganggu stabilitas ekonomi negara. Sangat penting untuk beralih ke sumber energi alternatif di Indonesia, dengan estimasi konsumsi bahan bakar fosil di negara itu dari 1.709,91 hingga 1.926,74 liter per tahun pada tahun 2023 [1], [2].

Pemerintah Indonesia mengeluarkan Peraturan Presiden No. sebagai upaya untuk diversifikasi energi melalui peraturan presiden nomor 112 Tahun 2022 tentang pasokan dan penggunaan bahan bakar nabati. Kebijakan ini mendorong penggunaan sumber daya hayati nasional, termasuk minyak nabati, sebagai sumber energi alternatif [3]. Minyak jarak (*Jatropha curcas* L.), yang banyak diteliti sebagai bahan baku untuk biodiesel dan bio-oil, adalah salah satu kandidat yang sangat berpotensi. Mengandung senyawa organik, minyak jarak berpotensi menjadi sumber energi bersih dan berkelanjutan dengan menghasilkan gas hidrogen melalui proses *reforming* dan pirolisis. Dengan emisi yang sangat rendah, hidrogen adalah bahan bakar berenergi tinggi [4]. Parameter suhu dalam proses produksi hidrogen yang bergantung pada reaksi termokimia sangat memengaruhi laju reaksi, komposisi produk, dan efisiensi konversi. Karakteristik fisiko-kimia minyak jarak, seperti viskositas dan densitas, sangat berubah secara signifikan terhadap temperatur. Oleh karena itu, temperatur merupakan faktor penting dalam proses dekomposisi termal yang melibatkan pembentukan gas hidrogen [5], [6].

Menggunakan metanol, bioetanol, dan biominyak, sejumlah penelitian tentang pengubahan steam telah dilakukan. Ini juga mencakup katalis berbasis logam, seperti CuO–Al₂O₃–ZnO–MgO, nikel, dan logam mulia. Proses umumnya berlangsung pada 200–600°C dengan mekanisme dekomposisi awal, steam reforming, dan reaksi pergeseran air-gas. Namun, penelitian yang secara khusus menyelidiki konversi

minyak jarak secara langsung tanpa katalis masih sangat sedikit. Selain itu, tidak banyak penelitian yang meneliti perubahan karakteristik nyala, intensitas pembakaran, dan tanda-tanda visual pembentukan hidrogen pada temperatur tertentu[7]–[9].

Keterbatasan ini menunjukkan bahwa penelitian masih kekurangan pengetahuan tentang proses konversi termal minyak jarak menjadi gas hidrogen. Hal ini terutama berlaku untuk pengaruh temperatur terhadap perilaku nyala dan intensitas reaksi. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk melihat bagaimana perubahan suhu memengaruhi proses konversi minyak jarak menjadi gas hidrogen yang dilakukan melalui pemanasan langsung. Penelitian ini diharapkan akan membantu mengembangkan teknologi energi terbarukan berbasis minyak nabati dan memperkuat rencana transisi energi nasional.

2. METODE PENELITIAN

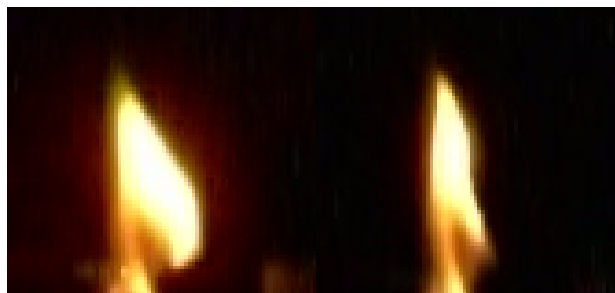
Studi ini dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin dalam Program Studi Teknik Mesin Universitas Gajayana Malang dari Januari hingga April 2024. Fokus eksperimen adalah untuk mengetahui bagaimana rasio pencampuran air dan minyak jarak memengaruhi jumlah hidrogen yang dihasilkan. Reforming steam dilakukan pada suhu tinggi.

Variabel terikat dan dua variabel bebas digunakan. Faktor bebas termasuk jenis bahan bakar (*Jatropha curcas L.*), variasi suhu pemanas (200.°C, 250.°C, 300.°C, 350.°C, dan 400.°C), komposisi campuran minyak jarak-air (1:1 dan 2:1), dan waktu pengamatan selama proses pembakaran. Sebaliknya, variabel terikat dalam penelitian ini adalah persentase hidrogen yang diproduksi pada setiap kondisi pengujian. Analisis visual dan proporsi warna nyala api digunakan untuk mendapatkan persentase ini. Mengalirkan campuran minyak jarak dan air ke ruang pemanas adalah tujuan dari peralatan eksperimen. Ini akan memicu pemanasan, pembakaran, dan steam reforming. Komponen sistem termasuk pemanas listrik, pipa alir, pemanas keluaran, dan tangki pencampur. Nyala api yang terbentuk pada ujung pipa keluaran menentukan analisis karakteristik visual. Skema peralatan penelitian digambarkan pada Gambar 4.

Data diperoleh dalam empat langkah utama. Pertama, rekaman video untuk setiap variasi suhu dan komposisi campuran dibuat. Selanjutnya, rekaman tersebut diekstraksi menjadi sejumlah frame menggunakan program ACDSee 8.0. Sepuluh frame terbaik dipilih berdasarkan kestabilan nyala api, dan kemudian digunakan pendekatan identifikasi warna pembakaran (merah untuk jelaga dan karbon, kuning untuk hidrok). Semua hasil analisis ditampilkan dalam grafik yang menunjukkan hubungan antara temperatur, waktu pemanasan, dan komposisi campuran terhadap persentase hidrogen. Penyajian data secara visual dan kuantitatif ini memungkinkan untuk menemukan pola produksi hidrogen dan untuk mengetahui seberapa efektif masing-masing rasio pencampuran membantu proses reforming.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pencitraan pembakaran dengan perbandingan hasil pencampuran minyak jarak dan air dengan komposisi 1:1 dan dengan komposisi 2:1 ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Hasil pencitraan dari proses pembakaran dengan komposisi 1:1



Gambar 2. Hasil pencitraan dari proses pembakaran dengan komposisi 2:1

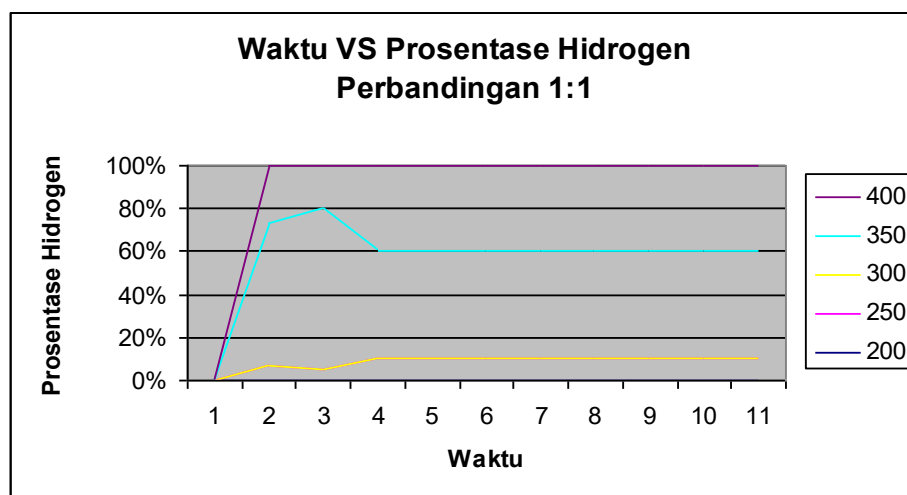
Gambar 1 dan gambar 2 menunjukkan hasil pencitraan nyala api untuk proses konversi termal minyak jarak, dengan rasio air-ke-minyak 1:1 dan 2:1, masing-masing. Secara visual, kedua rasio menunjukkan karakteristik nyala yang berbeda pada berbagai tingkat suhu, yang menunjukkan mekanisme reaksi termal yang berbeda yang terjadi selama proses pemanasan [10][11].

Pada rasio satu ke satu, nyala api cenderung lebih stabil dengan distribusi warna yang berubah secara bertahap seiring kenaikan suhu. Stabilitas nyala ini menunjukkan bahwa keseimbangan antara minyak jarak dan air memungkinkan proses dekomposisi termal dan reaksi lanjutan yang lebih terkendali. Di sisi lain, pada rasio dua ke satu, nyala api cenderung lebih berubah, terutama pada suhu rendah hingga menengah, menunjukkan bahwa proses pirol dominan.

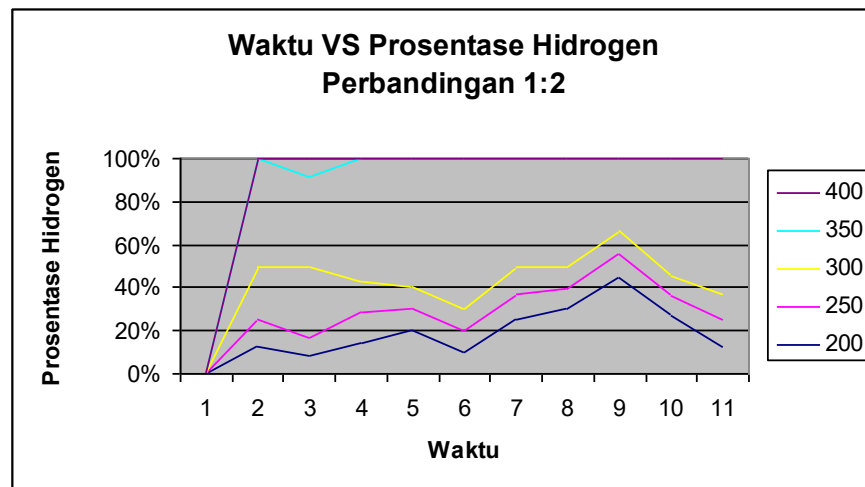
Perlu diingat bahwa kinerja termal (kecepatan kenaikan dan distribusi panas) tidak selalu berbanding lurus dengan kinerja reaksi kimia. Meskipun rasio 2:1 menunjukkan respons termal yang lebih cepat karena kandungan air yang lebih tinggi, kondisi ini cenderung menghambat mekanisme reaksi reforming yang ideal daripada meningkatkan pembentukan hidrogen secara langsung [12], [13].

a. Grafik analisa frame

1) Grafik Hubungan antara Prosentase Hidrogen (H_2) dengan Waktu (t)



Grafik 3. Prosentase Hydrogen (H_2) dengan Waktu (t) Perbandingan 1:1



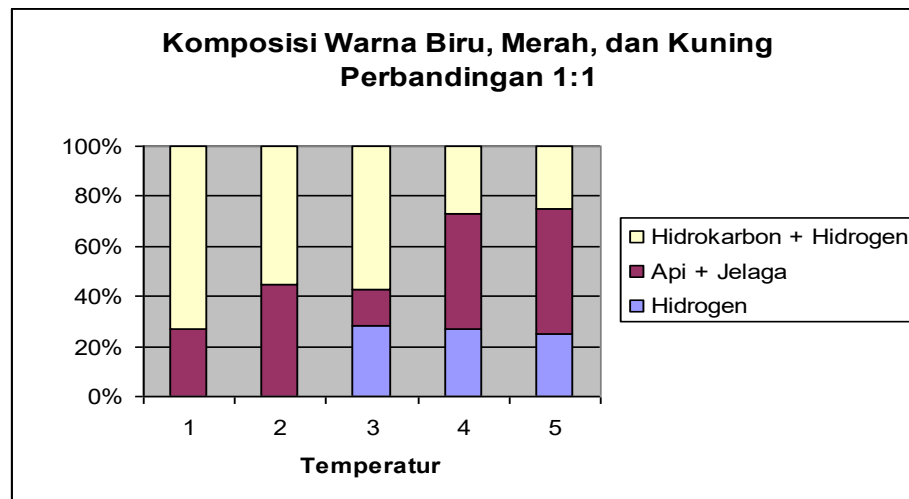
Grafik 2. Prosentase Hydrogen (H₂) dengan Waktu (t) Perbandingan 2 : 1

Temperatur memainkan peran penting dalam mempercepat proses reaksi, seperti yang ditunjukkan pada grafik yang menunjukkan hubungan antara indikasi relatif pembentukan hidrogen terhadap waktu pada rasio satu banding satu. Intensitas relatif warna biru masih rendah pada 200–250 °C, yang menunjukkan bahwa reaksi dekomposisi awal minyak jarak belum berlangsung secara signifikan. Indikasi peningkatan pembentukan hidrogen muncul pada 300 °C dan meningkat tajam pada 350 °C, dan cenderung stabil pada 400 °C.

Kecenderungan ini menunjukkan bahwa pada rasio 1:1, keseimbangan antara air dan minyak jarak cukup mendukung reaksi termal yang berkelanjutan yang menghasilkan pembentukan hidrogen yang lebih intens. Namun, karena analisis dilakukan berdasarkan karakteristik nyala api, temuan ini menunjukkan kecenderungan relatif daripada persentase hidrogen absolut.

Sebaliknya, grafik pada rasio 2:1 menunjukkan bahwa indikasi pembentukan hidrogen relatif rendah dan tidak stabil pada semua variasi suhu. Pirolisis dan cracking panas bukanlah mekanisme reaksi steam reforming yang efektif, menurut fluktuasi kurva. Kelebihan air pada rasio ini mengurangi kontak aktif antara uap minyak dan zona reaksi dan berfungsi sebagai penyerap panas atau heat sink. Akibatnya, pembentukan hidrogen relatif terhambat [14].

2) Grafik Hubungan komposisi warna merah, kuning, dan biru dengan Temperatur

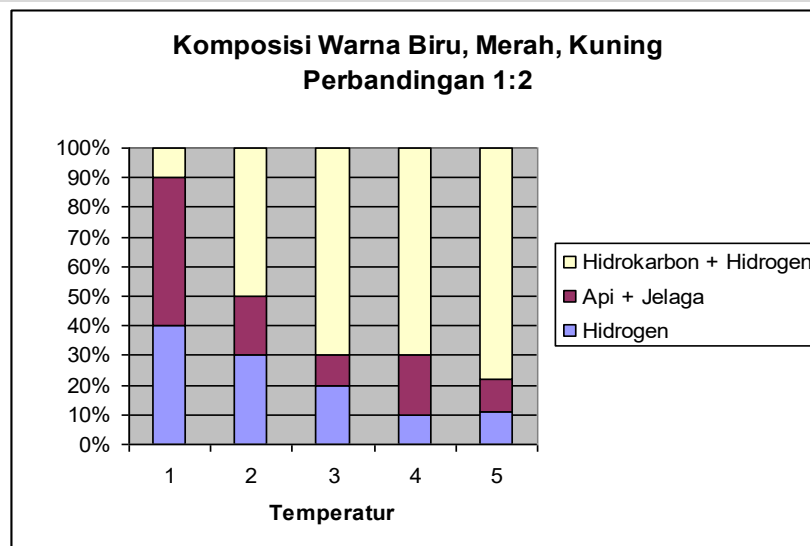


Grafik 3. Hubungan komposisi warna merah, kuning, dan biru dengan Temperatur Perbandingan 1:1

Analisis komposisi warna nyala api pada rasio 1:1 menunjukkan bahwa warna kuning masih mendominasi di seluruh rentang suhu, dengan persentase sekitar 40 hingga 60 persen. Dominasi warna kuning menunjukkan bahwa uap hidrokarbon dan radikal yang terbentuk dari dekomposisi minyak jarak belum terkonversi sepenuhnya.

Fraksi warna biru meningkat dengan cepat dengan suhu, terutama pada suhu tinggi. Peningkatan intensitas relatif warna biru menunjukkan pemutusan rantai hidrokarbon yang lebih efektif, yang menyebabkan kecenderungan pembentukan hidrogen meningkat. Namun, karena warna biru tidak mendominasi keseluruhan nyala, kondisi ini menunjukkan bahwa reaksi steam reforming belum selesai sepenuhnya dan masih disertai dengan reaksi lainnya [14].

Pada rasio ini, fraksi warna merah yang relatif stabil menunjukkan bahwa pembakaran tidak sempurna dan pembentukan jelaga masih terjadi, tetapi dalam tingkat yang lebih terkendali daripada pada rasio 2:1. Ini menunjukkan bahwa rasio satu banding satu memberikan kondisi reaksi yang lebih seimbang antara pemanasan, dekomposisi, dan pembentukan hidrogen [15].



Grafik 4. Hubungan komposisi warna merah, kuning, dan biru dengan Temperatur Perbandingan 2 : 1

Warna kuning mendominasi nyala api dengan persentase yang lebih tinggi pada rasio 2:1, mencapai sekitar 70 hingga 90 persen dari variasi suhu total. Dengan dominasi warna kuning, sebagian besar minyak jarak terurai menjadi uap hidrokarbon berat. Di sisi lain, konversi menuju hidrogen relatif terbatas.

Pada temperatur rendah, fraksi merah muncul dengan intensitas yang cukup tinggi, menunjukkan pembakaran tidak sempurna dan pembentukan jelaga akibat dominasi reaksi pirolisis. Sebaliknya, fraksi biru hanya muncul dalam jumlah kecil dan cenderung menurun pada temperatur tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kelebihan air menghalangi pembentukan kondisi reaksi yang membantu pembentukan hidrogen. Oleh karena itu, pada rasio 2:1, mekanisme reaksi cenderung didominasi oleh pembakaran tidak sempurna dan thermal cracking daripada steam reforming yang efektif [14], [16].

b. PEMBAHASAN

Rasio satu banding dua menunjukkan respons termal yang lebih cepat, tetapi rasio dua banding satu menghambat reaksi kimia yang menghasilkan pembentukan hidrogen. Rasio satu banding satu, di sisi lain, memberikan keseimbangan yang lebih baik antara panas, uap air, dan minyak jarak, sehingga reaksi termal dapat berlangsung

lebih stabil dan menghasilkan indikasi pembentukan hidrogen yang lebih besar. Ini ditunjukkan oleh analisis visual nyala api dan kecenderungan grafik waktu bahwa rasio satu banding satu adalah kondisi yang paling mendukung proses konversi termal minyak jarak menuju pembentukan hidrogen secara relative [9][17].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur dan rasio air–minyak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik nyala pada proses konversi termal minyak jarak. Rasio air–minyak 1:1 menghasilkan karakteristik nyala yang lebih stabil dengan peningkatan intensitas warna biru pada temperatur tinggi, yang mengindikasikan kecenderungan pembentukan hidrogen yang lebih baik. Sebaliknya, rasio 2:1 didominasi warna kuning dan menunjukkan proses pirolisis serta pembakaran tidak sempurna. Dengan demikian, rasio 1:1 merupakan kondisi yang paling mendukung pembentukan hidrogen secara relatif berdasarkan analisis visual nyala.

b. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan analisis gas kuantitatif serta mengkaji pengaruh katalis dan variasi laju pemanasan untuk meningkatkan efisiensi produksi hidrogen..

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia, *Handbook of energy & economic statistics of indonesia 2023*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber daya mineral, 2023.
- [2] A. Ibrahim, “Konsumsi BBM 505 Juta Barel per 2023, Terbanyak Buat Transportasi,” *www.cnnindonesia.com*, 2024.
- [3] Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik*. Republik Indonesia, 2022.
- [4] A. Lang and H. F. A. Elhaj, *JATROPHA OIL PRODUCTION FOR BIODIESEL AND OTHER PRODUCTION*. Khartoum, Sudan: Aeronautical

-
- Research Centre (ARC_Sudan), 2013.
- [5] Y. Bindar, "PENGARUH KOMPOSISI MASSA BAHAN BAKU DAN TEMPERATUR PADA STEAM REFORMER TERHADAP JUMLAH PRODUKSI BIO-HYDROGEN THE EFFECT OF RAW MATERIALS COMPOSITION AND STEAM REFORMER TEMPERATURE ON BIO-HYDROGEN PRODUCTION," vol. 02, no. 1, pp. 24–29, 2018.
- [6] A. Niño-Villalobos, J. Puello-Yarce, A. ngel D. González-Delgado, K. A. Ojeda, and E. Sánchez-Tuirán, "Biodiesel and Hydrogen Production in a Combined Palm and Jatropha Biomass Biore fi nery : Simulation , Techno-Economic , and Environmental Evaluation," *ACS Omega*, vol. 5, 2020, doi: 10.1021/acsomega.9b03049.
- [7] N. Al, N. A. O. Ceo, and N. A. O. Zno, "Steam reforming of ethanol for hydrogen production :," *React. Kinet. Mech. Catal.*, vol. 132, pp. 907–919, 2021, doi: 10.1007/s11144-021-01945-6.
- [8] Y.-K. Chih *et al.*, "Statistical optimization of hydrogen production from bio-methanol steam reforming over Ni-Cu/Al₂O₃ catalysts," *Fuel*, vol. 331, p. 125691, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125691>.
- [9] A. Mukhtar, I. N. . Wardana, and A. S. Widodo, "Pengaruh Penggunaan Katalis Kalium Hidroksida Pada Campuran Minyak Nabati dan Air Terhadap Produksi Hidrogen Dengan Menggunakan Metode Steam Reforming," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 139–146, 2019.
- [10] B. Liu *et al.*, "The Influence of Composition Ratio on the Thermal Performance Parameters of Eutectic Phase Change Materials : Experimental Research and Theoretical Prediction," *Build. J.*, vol. 13, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/buildings13123043>.
- [11] W. P. Sari, M. Jahja, I. Rahman, A. I. W. Sari, and M. F. Latief, "Sifat Termal Komposit Resin Berpenguat Serat Ijuk Sebagai Isolation Thermal Board Untuk Bahan Konstruksi Bangunan," *J. Kuantum*, vol. 6, no. 2, pp. 270–276, 2025, doi: <https://doi.org/10.63976/kuantum.v6i2.1157> e-ISSN:
- [12] H. Mukmin, M. Taufiqurrahman, and G. S. Lubis, "Analisis Konduktivitas Termal Material Komposit Berbahan Dasar Silika Pada Limbah Sekam Padi dan Tanah Liat Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Keramik Menggunakan Metode Lee ' s Disc," *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 25–32, 2024.
- [13] R. Yamamoto, "Thermal conductivity in composite solid-state materials : A comparative study," *Int. J. Res. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–5, 2024.
-

-
- [14] Z. Su, Y. Ying, C. Chen, and R. Zhao, "Effects of diluent gases on sooting transition process in ethylene counter flow diffusion flames," *Royal Soc. Chemistry*, vol. 12, pp. 18181–18196, 2022, doi: 10.1039/d2ra02409h.
- [15] M. Wang, X. Qian, Y. Suo, Y. Ye, G. Li, and Z. Zhang, "Effect of Hydrogen Addition on Soot Formation and Emission in Acetylene Laminar Diffusion Flame," *ACS Omega*, vol. 8, 2023, doi: 10.1021/acsomega.3c01216.
- [16] S. Chen *et al.*, "Experimental and Numerical Investigations of Soot Formation in the Laminar to Turbulent Transition of an Acetylene Diffusion Flame," *ACS Omega*, vol. 10, 2025, doi: 10.1021/acsomega.5c05165.
- [17] A. Pafili *et al.*, "Recent Progress in the Steam Reforming of Bio-Oil for Hydrogen Production : A Review of Operating Parameters , Catalytic Systems and Technological Innovations," *Catalysts*, vol. 11, 2021.