



Analisis Perbedaan Kecepatan Reaktan Terhadap Nyala Api Bunsen Burner Pada Metode Simulasi Ansys Fluent

Muharman¹

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
[1kmata437@gmail.com](mailto:kmata437@gmail.com)

Abstract: Renewable and new green energy utilization such as the effect of H₂-air combustion by using tools to measure laminar flame speed, one of which is Bunsen burner. Measurements in the study were carried out through CFD simulations that varied the reactant speed against the Bunsen flame speed. The highest reactant velocity of 3 m/s from the H₂-air mixture produces the greatest flame height, temperature, and laminar flame speed. This is because the combustion process of the H₂-air mixture occurs so quickly that it produces stable combustion under stoichiometric conditions.

Keywords: Bunsen burner, hydrogen, laminar flame speed.

Abstrak: Pemanfaatan energi hijau baru dan terbarukan seperti pengaruh pembakaran H₂-udara dengan menggunakan alat untuk mengukur kecepatan nyala api laminar, salah satunya Bunsen burner. Pengukuran pada penelitian dilakukan melalui simulasi CFD yang memvariasikan kecepatan reaktan terhadap kecepatan nyala api Bunsen. Kecepatan reaktan tertinggi sebesar 3 m/s dari campuran H₂-udara menghasilkan tinggi nyala api, temperatur, dan kecepatan api laminar yang paling besar. Hal ini terjadi karena proses pembakaran campuran H₂-udara yang terjadi begitu cepat sehingga menghasilkan pembakaran yang stabil pada kondisi stoikiometri.

Kata Kunci: Bunsen burner, hidrogen, kecepatan api laminar.

I. PENDAHULUAN

Masalah emisi karbon dan sifatnya yang tidak dapat diperbaharui, sehingga menyebabkan peralihan bahan bakar fosil ke bahan bakar terbarukan tidak dapat dihindari (Yi et al, 2023). Berbagai undang-undang dan peraturan sedang diterapkan di banyak negara untuk membatasi emisi gas rumah kaca terutama emisi karbon dioksida (Sorgulu et al, 2024).

Potensi untuk menghasilkan hidrogen hijau dari sumber energi terbarukan seperti tenaga angin dan radiasi matahari telah diselidiki dalam berbagai penelitian (Dabar et al, 2024). Dalam lima tahun terakhir, kontribusi energi primer yang berasal dari sumber energi hijau seperti tenaga air, biomassa, angin, matahari, laut (gelombang dan pasang surut) dan panas bumi telah meningkat secara global sebesar 23.2% (Ritchie et al, 2020).

Salah satu hasil pembakaran Bunsen burner adalah nilai dari kecepatan api laminar, dimana sangat dipengaruhi oleh kecepatan reaktan dan diameter Bunsen itu sendiri (Haoyang et al, 2022). Penambahan hidrogen dan peningkatan fraksi hidrogen dalam campuran bahan bakar, terdapat perubahan yang sesuai dalam stabilitas nyala api, kecepatan pembakaran laminar (LBV), suhu ujung nyala api dan emisi polutan CO (Zhen et al, 2024). Hidrogen memiliki rentang flammability yang sangat luas, yaitu 4-75% volume di udara. Memungkinkan pembakaran dalam berbagai kondisi campuran bahan bakar dan udara, dari sangat kurus (*lean*) hingga kaya (*rich*) (Schefer et al, 2008).

Pengaruh kecepatan reaktan (*reactant velocity*) dalam aliran nyala api memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik pembakaran. Perubahan kecepatan reaktan dapat memengaruhi struktur nyala api, stabilitas nyala api, dan jenis pembakaran (laminar atau turbulen) (Qu et al, 2024). Hasil pengujian pada reaktan 1 m/s dengan metode Background Oriented Schlieren (BOS) menghasilkan kecepatan api laminar terbesar pada ER=1.1 untuk campuran CH₄-udara (Cakir et al, 2025).

Penggunaan aplikasi ansys fluent untuk simulasi pembakaran api laminar dapat dilakukan mulai dari persiapan geometri, pembuatan mesh setup fisik, model dalam fluent, setup solusi, jalankan simulasi,



analisis data, validasi hingga optimasi (. Pendekatan berbasis CFD dan identifikasi sistem terbukti menjadi metode yang efisien dan fleksibel untuk mengevaluasi FTF dan ketidakstabilan pembakaran dalam berbagai kondisi operasi (Ke et al, 2024).

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan system simulasi CFD berbasis Ansys Fluent. Tempat penelitian dilakukan pada Lab SPRS Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Kecepatan reaktan campuran H₂-udara yang digunakan pada penelitian ini sebesar 0.5 m/s, 0.75 m/s, 1 m/s, 1.5 m/s, 2 m/s, 2.5 m/s, dan 3 m/s.

Bahan material Bunsen burner adalah steel. Diameter *nozzle* Bunsen burner yang digunakan pada penelitian ini sebesar 2 mm. Proses pembakaran terjadi diluar nozzle dengan system pembakaran gas ideal, dimana tempertur lingkungan 300 K dan tekanan 1 atm.

Prosedur perhitungan dengan menentukan menentukan AFR, *equivalen ratio* Reynold number dan kecepatan api laminar.

2.1 Air-Fuel Ratio (AFR)

AFR adalah perbandingan massa udara terhadap massa bahan bakar yang digunakan dalam proses pembakaran. AFR adalah parameter penting dalam berbagai aplikasi pembakaran, seperti mesin pembakaran internal, burner, dan proses termal lainnya (Hu at al, 2024). Pada peneitian ini nilai AFR Merupakan perbandingan udara dan bahan bakar yang tepat untuk pembakaran sempurna, di mana seluruh bahan bakar dan oksigen bereaksi sepenuhnya tanpa sisa. $AFR_{H_2-udara} (H_2 + 0.5(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow H_2O + 1.88N_2 + Heat)$. AFR mempengaruhi efisiensi energi dari proses pembakaran. Campuran stoikiometri cenderung menghasilkan efisiensi energi maksimal. Untuk emisi gas buang antara campuran hidrogen dan udara menghasilkan uap air sehingga bisa dikatankan sebagai zero emisi. campuran AFR pada kondisi stoikimetri menghasilkan nyala api yang paling baik dikarenakan semua reaktan dapat terbakar dengan sempurna. Pada pembakaran hidrogen dan udara menghasilkan AFR sebesar 34.21 berdasarkan fraksi massa pada kondisi stoikiometri (Dias, 2024).

2.2 Rasio Ekivalen (ϕ)

Rasio Ekivalen (ϕ) atau ER adalah parameter penting dalam analisis pembakaran, yang menggambarkan perbandingan antara bahan bakar dan oksidator (biasanya udara) dalam campuran pembakaran, dibandingkan dengan perbandingan stoikiometrisnya. Hubungan rasio ekivalen dengan fraksi massa Rasio ekivalen dapat dihitung menggunakan fraksi massa campuran bahan bakar dan udara. Jika diketahui fraksi massa bahan dan oksidator , serta massa molar masing-masing komponen.

Distribusi fluks panas pada permukaan datar menunjukkan pola yang dipengaruhi oleh jarak impingement dan rasio ekivalen (Dhamudia et al, 2024). Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Mondal et al., 2023) , penggunaan campuran H₂-udara yang dengan rasio ekuivalen $0.1 \leq ER \leq 0.2$ dalam kondisi aliran laminar. Menghasilkan pembakaran H₂-udara menjadi tidak stabil pada rasio ekivalen rendah ($ER < 0.4$) dan penambahan katalis dapat meningkatkan stabilitas secara signifikan, bahkan pada kondisi ultra-lean.

2.3 Bilangan Reynolds (Re)

Re adalah bilangan takberdimensi yang digunakan untuk menentukan jenis aliran fluida, apakah alirannya laminar atau turbulen. Re yang dihasilkan nilainya berada dibawah 2300 agar alirannya laminar. Dari metode diatas didapatkan nilai Re pada tabel dibawah ini.

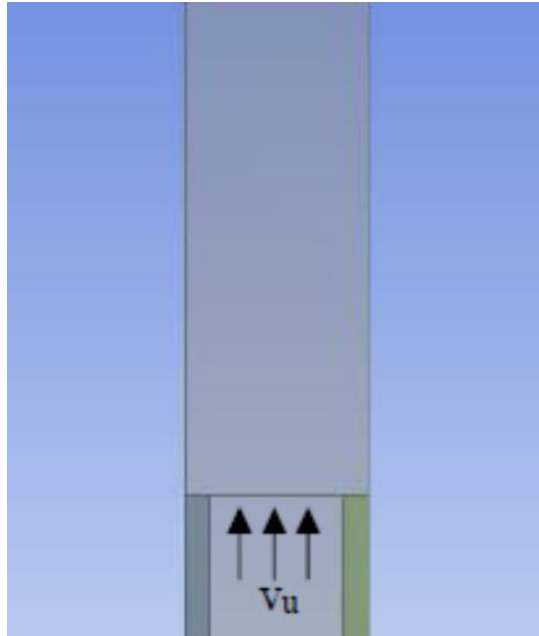
Tabel 1. Variasi equivalent ratio Bunsen burner campuran H₂- udara

v_u (m/s)	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5	3
ρ_{cam} (kg /m ³)	0.877	0.877	0.877	0.877	0.877	0.877	0.877



$\mu_{cam}(\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s})$	18.46×10^{-6}	18.46×10^{-6}	18.46×10^{-6}	18.46×10^{-6}	18.46×10^{-6}	18.46×10^{-6}	18.46×10^{-6}
Re	47	71	95	143	190	238	285

Dari Reynold number pada Tabel 1 dapat dinyatakan bahwa alirannya adalah laminar. Melakukan metode simulasi setelah mengetahui tipe alirannya laminar maka selanjutnya adalah tahap persiapan dengan mendesain diameter pembakaran Bunsen pada software ansys fluent

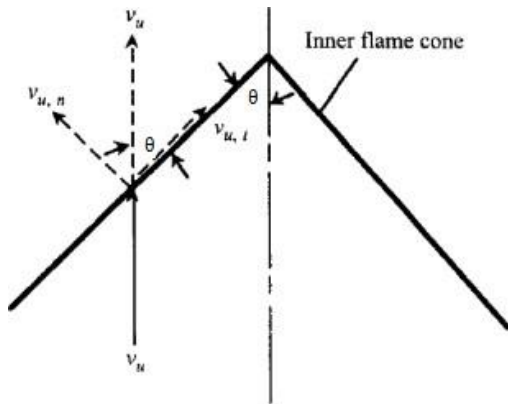


Gambar 1. Geometri zona reaksi pembakaran

dimana pengaturan meshing pada 0.1 mm hingga simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan paket perangkat lunak ansys fluent, yang berisi perhitungan untuk mendapatkan visual kecepatan nyala api. Setup solution disesuaikan dengan parameter diatas yang sudah ditetapkan sesuai pada simulasi ini menggunakan persamaan, energi, *species*, *steady* dan *velocity formulation absolut*. Kondisi batas simulasi dipilih agar sesuai dengan kondisi eksperimental dengan mengatur suhu ke 300 K dan tekanan ke 1 atm. dengan fraksi massa pada rasio ekuivalen sama dengan satu, kemudian memvariasikan kecepatan reaktan sesuai dengan variable yang sudah ditetapkan sebelumnya. Mengatur solution methode pada schema coupled untuk hasil yang diinginkan, kemudian hybrid Initialize dan jalankan simulasi. Hasil visual yang didapatkan diukur pada dimensi sudut dan ketinggian nyala api laminar yang dihasilkan melalui software CorelDraw X7.

2.3 Laminar Burning Velocity (LBV)

Kecepatan nyala api laminar (LBV) adalah kecepatan propagasi nyala api relatif terhadap campuran gas bahan bakar dan udara yang tidak bergerak dalam kondisi pembakaran laminar (Fang et al, 2024). Parameter ini adalah sifat intrinsik bahan bakar dan mencerminkan karakteristik reaksi kimia, difusi, dan sifat termofisik dari campuran gas. Pasokan campuran udara dan bahan bakar gas dikontrol pada ER=1 dan melewati diameter nozzle Bunsen burner. Kemudian, dengan mengasumsikan bahwa nyala api pembakar Bunsen memiliki bentuk kerucut melingkar dengan sudut kerucut setengah puncak (θ) (Hu et al, 2018).

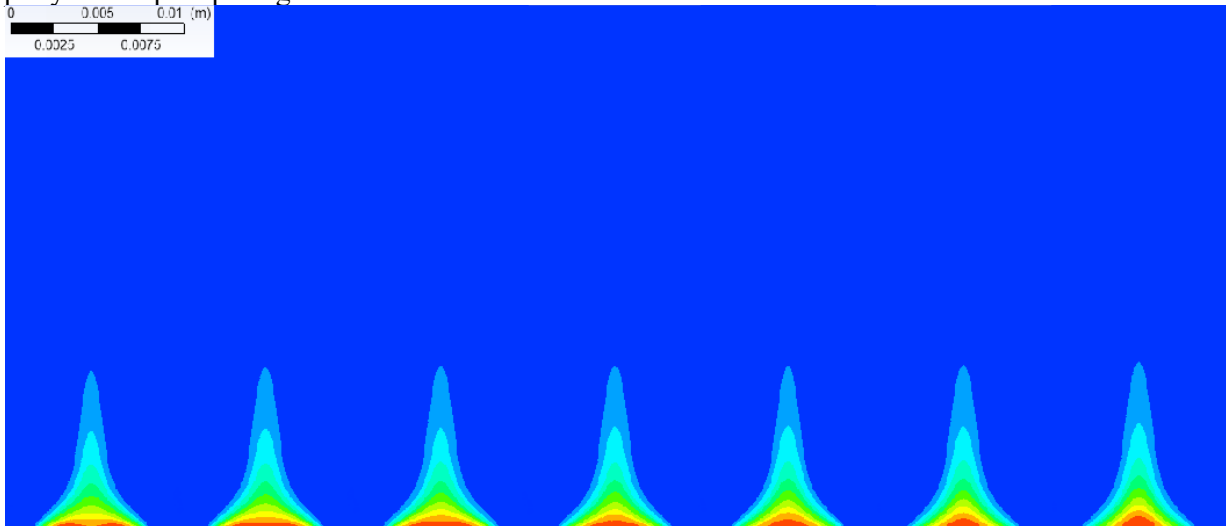


Gambar 2. Diagram vektor kecepatan nyala api laminar

Untuk menentukan kecepatan nyala api laminar maka akan ditentukan melalui perhitungan kecepatan reaktan dikalikan dengan sudut nyala api yang dihasilkan atau bisa dirumuskan menjadi $S_L = v_u \times \sin \theta$. Pada kasus tertentu penyalaaan api hidrogen-udara meghasilkan *flame stretch* dapat menyebabkan kecepatan nyala api berkurang signifikan, atau bahkan menyebabkan pemadaman pada kondisi ultra-lean dikarenakan hidrogen memiliki koefisien difusi yang tinggi, sehingga sangat sensitif terhadap flame stretch.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil visualiasi simulasi Bunsen burner pada campuran H₂-udara pada ekuivalen rasio (ER) adalah 1. Untuk campuran ini dengan menentukan fraksi massa pada setiap kecepatan reaktan meghasilkan gambar penyalaaan api seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3. Data visual nyala api Bunsen burner pada kecepatan reaktan berbeda

Untuk mendapatkan data tinggi nyala api dan sudut api dari data visual seperti pada gambar diatas dapat menggunakan software CorelDraw X7, dimana data visual nyala api diatur dengan skala 1:1. Kemudian untuk mendapatkan data tinggi nyala api dilakukan dengan cara menarik garis lurus dari ujung bibir bunsen burner hingga ujung nyala api laminar. Sedangkan untuk mendapatkan data sudut nyala api dilakukan dengan cara menarik garis dari ujung nyala api laminar keujung bibir bunsen burner. Kemudian data visual diatas dapat dicari nilai kecepatan api laminar dari penukuran sudut dan variasi kecepatan reaktan.

Hasil gambar visual didapatkan ketinggian nyala api yang meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan reaktan begitu juga dengan temperature yang dihasilkan.

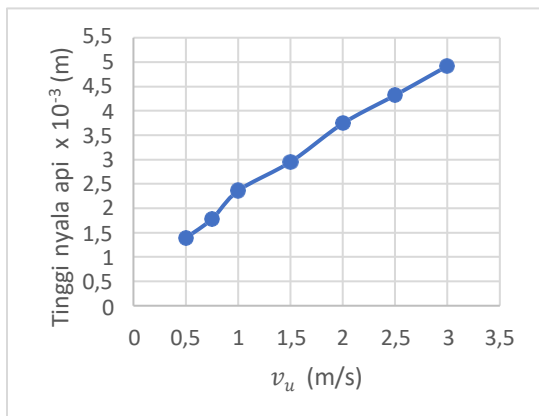
Tabel 2. Data hasil pengolahan visualisasi nyala api



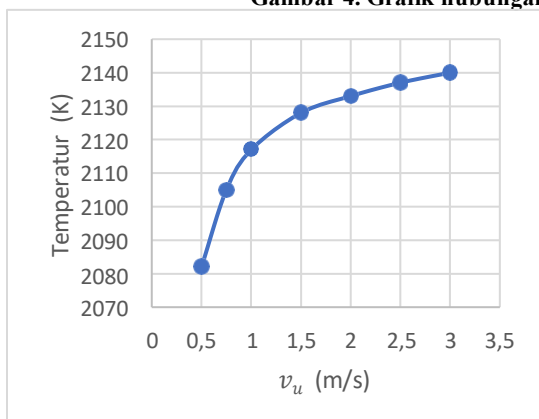
v_u (m/s)	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5	3
Temperatur (K)	2082	2105	2117	2128	2133	2137	2140
Tinggi api (mm)	1.38	1.55	1.62	1.69	1.75	1.86	1.90
α (°)	129.40	124.01	121.18	114.98	111.07	104.11	98.85
S_L (m/s)	0.452	0.62	0.871	1.265	1.649	1.972	2.279

Tabel diatas didapatkan bahwa temperatur dan kecepatan api lamianar yang dihasilkan paling tinggi pada kecepatan reaktan 3 m/s akan tetapi menghasilkan sudut kerucut paling rendah pada penelitian ini sebesar 51.95° .

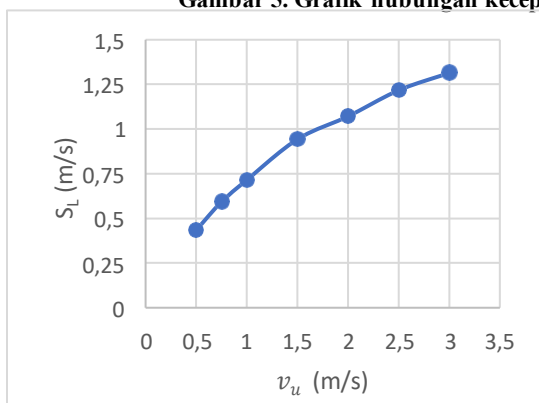
Data dari tabel diatas dapat dibuat sebuah kurva pengamatan untuk mendapatkan bentuk grafik yang dihasilkan sebagai hubungan antara kecepatan reaktan dengan temperature nyala api laminar, kecepatan reaktan dengan ketinggian nyala api laminar dan juga kecepatan reaktan dengan kecepatan api laminar pada $ER=1$.



Gambar 4. Grafik hubungan kecepatan reaktan dengan tinggi nyala api



Gambar 5. Grafik hubungan kecepatan reaktan dengan temperatur nyala api laminar





Gambar 6. Grafik hubungan kecepatan reaktan dengan kecepatan api laminar

Pengaruh tinggi nyala api pada gambar 4. dimana berpengaruh pada kecepatan reaktan yang semakin tinggi sehingga berbanding lurus dengan ketinggian nyala api pada $ER=1$ dan diameter nozzle yang tetap. Selain itu kenaikan tinggi api ini juga disebabkan oleh fenomena pemanjangan api (*flame stretch*) yang masih pada kondisi yang aman. *Flame stretch* mempengaruhi dinamika pembakaran, termasuk stabilitas nyala api, kecepatan nyala api laminar, dan distribusi panas. Di mana semakin tinggi kecepatan reaktan maka menyebabkan kecepatan reaktan lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan pembakaran, sehingga menyebabkan terjadinya fenomena pemanjangan api yang mengakibatkan tinggi api mengalami kenaikan ketika nilai kecepatan reaktan mengalami kenaikan.

Dari gambar 5, dapat dilihat bahwa temperatur api memiliki kecenderungan untuk mengalami kenaikan berbanding lurus dengan kenaikan nilai kecepatan reaktan. Hal ini terjadi karena, akibat semakin tingginya kecepatan reaktan yang masuk maka temperatur yang dihasilkan semakin besar, saat mengalami reaksi pembakaran yang lebih besar, sehingga semakin banyak melepas energi panas akibat proses oksidasi antara udara dengan bahan bakar. Oleh sebab itu, semakin tinggi nilai kecepatan reaktan menyebabkan temperatur nyala api semakin tinggi. Ketika perubahan kecepatan reaktan dari bahan bakar hidrogen dan udara meningkat maka reaksi pembakaran pada Bunsen burner juga meningkat hingga penyalan api mendekati nilai Reynold number menyentuh kondisi transisi n yang berkisar $Re \geq 2300$, apabila kecepatan reaktan menghasilkan nilai Reynold lebih dari itu maka kecepatan nyala apinya dapat berupa nyala api difusi.

Pengamatan gambar 6, dapat dilihat bahwa kecepatan api laminar memiliki kecenderungan mengalami kenaikan seiring dengan naiknya nilai kecepatan reaktan. Terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi kecepatan api laminar, yaitu kecepatan reaktan dan sudut nyala api yang terbentuk dari proses pembakaran campuran H_2 -udara pada Bunsen burner.

Sudut kerucut yang dihasilkan sangat mempengaruhi nilai dari kecepatan api laminar, dimana semakin kecil sudut yang dihasilkan dari variasi peningkatan kecepatan reaktan maka kecepatan api laminar akan semakin meningkat. Akibat adanya peningkatan pada nilai kecepatan reaktan, menyebabkan nilai kecepatan api laminar juga dapat meningkat, karena salah satu faktor yang mempengaruhi nilai kecepatan api laminar selain sudut nyala api adalah nilai kecepatan reaktan. Di mana nilai kecepatan api laminar dan kecepatan reaktan berbanding lurus, artinya apabila terjadi peningkatan pada nilai kecepatan reaktan maka nilai dari kecepatan api laminar juga akan meningkat.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pemaparan hasil diatas menghasilkan kesimpulan berupa semakin meningkatnya kecepatan reaktan akan menghasilkan kenaikan tinggi nyala api laminar, temperatur dan kecepatan api laminar akan tetapi sudut kerucut yang dihasilkan semakin mengecil.

Untuk mendapatkan nilai yang lebih detail maka diperlukannya simulasi seperti ansys chemkin yang membahas bagian yang lebih dalam dan juga untuk mendapatkan hasil yang lebih baik maka bisa dilakukan dengan metode eksperimen.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Asisten Lab di SPRS Teknik Mesin UB selaku penyedia layanan simulasi hingga terselesaikannya penelitian ini.

VI. DAFTAR PUSTAKA



- [1] Cakir, B. O., Sanned, D., Prakah, M., Brackhmann, C., Richter, M. & Fureby, C (2025). *Application and assessment of background oriented Schlieren for laminar burning velocity measurements*. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 163, 111357. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2024.111357>.
- [2]. Dabar, O. A., Awaleh, M. O., Waberi, M. M., Ghiasirad, H., Adan, A. I., Ahmed, M. M, Nasser, M, Juangsa, F. B., Guirreh, I. A., Abdillahi, M. O. & Elmi, O I. (2024) *A Techno-economic and environmental assessment of green hydrogen and ammonia production from solar and wind energy in the republic of Djibouti: A geospatial modeling approach*. *Energy Reports*. 12, Pages 3671-3689. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.09.037>.
- Dhamudia, K., Mahato, S. K., Singh, R. K., Kumar, A., Panda, S. K, Sahu, M. K, & Hasnain, S. M. M. (2024). *Heat propagation phenomenon of compressed natural gas /air premixed laminar flame impinging on a flat surface*. *Case Studies in Thermal Engineering*. 64 , 105571. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105571>.
- Dias, G. (2024). *AFR Calculator (Air-Fuel Ratio)*. <https://www.omnicalculator.com/chemistry/air-fuel-ratio-afr>. (diakses : 19 Januari 2024).
- Elgack, M. E., Souqi, K. A., Hamdan, M. O. & Abdelgawad, M. (2024). *Compressibility effects in microchannel flows between two-parallel plates at low reynolds and mach numbers: Numerical analysis*. *International Journal of Thermofluids*. 24,100921. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100921>.
- Fang, Q., Fang, J., Zhang, Y., Lian, T., Li, W., Ye, L. & Li, Y. (2024). *Unraveling combustion chemistry of dimethyldiethoxysilane. II. A comprehensive study on the laminar flame propagation of ethoxysilane flame synthesis precursors*. *Combustion and Flame*. 270, 113795. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2024.113795>.
- Grégoire, C. M., Mathieu, O., Kalman, J. & Petersen, E. L. (2025). *Review and assessment of the ammonium perchlorate chemistry in AP/HTPB composite propellant gas-phase chemical kinetics mechanisms*. *Combustion Science*. 106, 101195. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2024.101195>.
- Haoyang, L., Hao, J. & Du, Zang, T. (2022). *Experimental and modeling analysis of laminar flame speed over the pyrolytic gas from red pinewood*. *Engineering*. 37, 102127. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102127>
- Hu, S., Gao, J., Gong, C., Zhou, Y., Sai, X. S., Li, Z. S. & Alden, M. (2018). *Assessment of uncertainties of laminar flame speed of premixed flames as determined using a Bunsen burner at varying pressures*. *Applied Energy*. 227 , Pages 149-158. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.083>.
- Hu, Y., Sun, Y., Zhang, Q., Ma, Q. (2024). *Experimental analysis on the combustion performance of aftertreatment diesel burner under cold start and warm-up conditions*. *Applied Thermal Engineering*. 253, 123783.
- Ke, E., Ji, C., Wang, M., Pan, D. & Zhu, T. (2024). *Prediction of flame transfer function and combustion instability on a partially premixed swirling combustor by the system identification and CFD methods*. *Aerospace Science and Technology*. 151, 109275. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2024.109275>.
- Mondal, M. N. A., Karimi, N., Jackson, S. D., Paul, M. C., 2023. *Numerical investigation of premixed hydrogen/air combustion at lean to ultra-lean conditions and catalytic approach to enhance stability*. *International Journal of Hydrogen Energy*. 48, 18100–18115. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.298>
- Qu, Z., Wang, Y., Chen, X. & Chen, Z. (2024). *Effects of partial fuel cracking on the forced ignition and spherical flame propagation in ammonia/air mixtures*. *Fuel*. 378, 132936. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132936>.
- Ritchie, H., Roser, M. & Rosado, P. (2020). *Renewable energy sources are growing quickly and will play a vital role in tackling climate change*. Oxford:MITPress. <https://ourworldindata.org/renewable-energy>. (diakses 8 januari 2024).
- Sahebdehfar, S. & Soltanieh, M. (2024). *A study on the applicability of non-stoichiometric thermodynamic models for the prediction of carbon black yield and off-gas composition in oil furnace process*.



- Carbon Trends. 13, 100308. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2023.100308>.
- Schefer, R. W., White, C. & Keller, J. (2008). *Chapter 8 - Lean Hydrogen Combustion*. *Technology and Control* 2008, Pages 213-254, VII-VIII. <https://doi.org/10.1016/B978-12370619-5.50009-1>.
- Sorgulu, F., Ozturk, M., Javani, N. & Dincer, I. (2024). *Effect of burner head geometry on flame dispersion in gas stoves with hydrogen and natural gas blends*. *Process Safety and Environmental Protection*. 183, 11351151. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.081>.
- Yi, S., Abbasi, K. R., Hussain, K., Albaker, A. & Alvarado, R. (2023). *Environmental concerns in the United States: Can renewable energy, fossil fuel energy, and natural resources depletion help?*. *Gondwana Research*. 117, Pages 41-55. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.12.021>
- Zhang, Y., Zhang, W., Yu, B., Li, X., Zhang, L., Zhao, Y. & Sun, S. (2024). *Experimental and kinetic modeling study on laminar flame speeds and emission characteristics of oxy-ammonia premixed flames*. *International Journal of Hydrogen Energy*. 63, Pages 857-870.