

Perbandingan kadar HC dan CO antara bahan bakar alternatif dari limbah plastik dengan bahan bakar komersial pada tiap posisi gigi transmisi motor bakar 4 langkah

Purwo Subekti^{1*}, Aprizal¹, Heri Suropto¹, Yoserizal¹, Sohibun², Rindi Genesa Hatika², Jhoni Rahman³, Wanda Laksana⁴, Nur Rohmat Rusdianto⁴

¹Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian, Rokan Hulu, Riau

²Program Pendidikan Fisika Universitas Pasir Pengaraian Rokan Hulu, Riau

³Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau Pekanbaru, Riau

⁴Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian, Rokan Hulu, Riau

Email: *purwos@upp.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan konsumsi bahan bakar fosil dan akumulasi limbah plastik menimbulkan persoalan lingkungan yang signifikan, termasuk tingginya emisi gas buang kendaraan bermotor. Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan bakar alternatif melalui pirolisis menawarkan potensi solusi, namun performa emisi hasil pembakarannya perlu dievaluasi lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kadar emisi hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) antara Bahan Bakar Alternatif (BBA) hasil pirolisis limbah plastik dengan Bahan Bakar Komersial (BBK) pada motor bakar 4 langkah. Pengujian dilakukan menggunakan Gas Analyzer HG-520 pada motor bensin 100 cc dengan putaran konstan 2000 RPM pada posisi transmisi Netral hingga Gigi 4. Parameter yang diukur meliputi konsentrasi CO (%) dan HC (ppm) sebagai indikator pembakaran tidak sempurna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara rata-rata, penggunaan BBA menghasilkan emisi CO sebesar 0,78% dan HC sebesar 525,60 ppm, sedangkan BBK menghasilkan CO 0,86% dan HC 854,80 ppm. BBA memberikan penurunan emisi HC secara konsisten pada sebagian besar posisi gigi, kecuali pada Gigi 1 di mana terjadi peningkatan CO dan HC. Sementara itu, BBK menunjukkan kecenderungan peningkatan emisi HC pada gigi yang lebih tinggi. Perbedaan karakteristik emisi ini diduga dipengaruhi oleh volatilitas, indeks oksigen, rasio udara–bahan bakar, dan dinamika pembakaran masing-masing bahan bakar. Informasi tersebut mengindikasikan potensi BBA dari limbah plastik sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan, terutama dalam menekan emisi HC, namun memerlukan optimasi pada fase akselerasi awal dan penelitian lanjutan.

Kata kunci: bahan bakar alternatif, emisi gas buang, hidrokarbon, karbon monoksida, limbah plastik.

ABSTRACT

The increasing consumption of fossil fuels and the accumulation of plastic waste pose significant environmental challenges, including elevated vehicle exhaust emissions. Utilizing plastic waste as an alternative fuel through pyrolysis presents a potential solution; however, its combustion emission performance requires further evaluation. This study aims to compare the levels of hydrocarbon (HC) and carbon monoxide (CO) emissions between Alternative Fuel (BBA) derived from plastic-waste pyrolysis and Commercial Fuel (BBK) in a four-stroke combustion engine. Emission testing was conducted using a HG-520 Gas Analyzer on a 100 cc four-stroke gasoline engine operated at a constant 2000 RPM across transmission positions from Neutral to Fourth Gear. The measured parameters included CO (%) and HC (ppm) concentrations as indicators of incomplete combustion. The results show that, on average, BBA produced CO emissions of 0.78% and HC emissions of 525.60 ppm, whereas BBK produced CO emissions of 0.86% and HC emissions of 854.80 ppm. BBA consistently yielded lower HC emissions in most gear positions, except in First Gear where both CO and HC increased. Conversely, BBK tended to generate higher HC emissions at higher gears. These

differences are likely influenced by fuel volatility, oxygen index, air–fuel ratio, and combustion characteristics. This information indicates the potential of BBA from plastic waste as a more environmentally friendly alternative fuel, particularly in reducing HC emissions, but requires optimization during the initial acceleration phase and further research.

Keywords: alternative fuel, carbon monoxide, exhaust emissions, hydrocarbons, plastic waste.

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global dan masalah lingkungan telah menjadi perhatian utama di era modern, diantara penyebab utama pemanasan global adalah emisi gas buang dari kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil dan limbah plastik di tempat pembuangan akhir (TPA). Limbah plastik merupakan salah satu masalah lingkungan yang semakin meningkat karena sifatnya yang sulit terurai dan berpotensi mencemari lingkungan [1-2]. Konversi limbah plastik menjadi bahan bakar merupakan langkah inovatif yang sedang diperjuangkan dalam upaya mengurangi emisi gas berbahaya yang dihasilkan oleh mesin pembakaran dalam. Dengan memanfaatkan limbah plastik yang sebelumnya menjadi masalah lingkungan besar, proses konversi ini tidak hanya memberikan solusi untuk mengurangi limbah plastik yang tidak terurai dengan cepat, tetapi juga menghasilkan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan [3-4].

Dalam upaya mengurangi dampak negatif dari penggunaan bahan bakar fosil dan mengelola limbah plastik, penelitian tentang penggunaan limbah plastik sebagai bahan bakar alternatif dalam motor bakar menjadi semakin relevan. Dengan mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar, bukan hanya dapat mengurangi jumlah limbah plastik yang mencemari lingkungan, tetapi juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang menyebabkan emisi gas rumah kaca [3-8]. Perbandingan emisi gas buang antara penggunaan bahan bakar alternatif (BBA) dari limbah plastik dengan bahan bakar komersial (BBK) menjadi topik yang menarik untuk diteliti. Dengan melakukan perbandingan ini, dapat diketahui sejauh mana penggunaan bahan bakar dari limbah plastik mampu mengurangi emisi gas buang yang merugikan lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar komersial konvensional [3, 4, 8-10]. Selain itu, analisis perbandingan emisi antara bahan bakar yang berasal dari limbah plastik dan bahan bakar konvensional pada mesin pembakaran adalah suatu langkah yang esensial dalam mengevaluasi dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar alternatif. Dengan membandingkan komposisi gas buang yang dihasilkan oleh kedua jenis bahan bakar tersebut, penelitian ini memberikan wawasan yang mendalam tentang potensi pengurangan emisi yang dapat dicapai dengan mengadopsi bahan bakar dari limbah plastik [5, 6, 11].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan emisi gas buang motor bakar menggunakan bahan bakar alternatif (BBA) dari limbah plastik dengan bahan bakar komersial (BBK). Penelitian ini hanya berfokus pada aspek kuantitatif emisi gas buang karbon monoksida (CO), dan Hidrokarbon (HC), karena dua parameter tersebut dianggap paling mempengaruhi penurunan kualitas udara dan lingkungan. Sehingga perlu analisis kajian perbandingan emisi dari penggunaan BBK dan BBA dari limbah plastik. Dengan memperhitungkan aspek keberlanjutan, efisiensi energi, dan biaya, penelitian ini membantu dalam merumuskan strategi yang lebih berkelanjutan dalam penggunaan bahan bakar alternatif [11]. Hasil perbandingan emisi gas buang antara penggunaan bahan bakar dari limbah plastik dan bahan bakar komersial, diharapkan akan meningkatkan wawasan yang lebih mendalam tentang potensi penggunaan bahan bakar dari limbah plastik sebagai alternatif yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga berkelanjutan dalam jangka panjang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Maret 2025 hingga September 2025 di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian. Uji emisi dilakukan pada mesin bensin 100 CC 4 langkah, di mana mesin konstan yang digunakan telah dioperasikan dengan Bahan Bakar Komersial (BBK) dan Bahan Bakar Alternatif (BBA) dari limbah plastik yang dihasilkan dari penelitian sebelumnya [4, 7-8].

Setiap jenis bahan bakar diuji pada kecepatan transmisi Netral dan gigi 1-4, putaran mesin 2000 RPM yang konsisten, dengan durasi waktu putaran mesin selama 60 detik. Pengukuran kandungan emisi menggunakan Gas Analyzer HG-520, dengan parameter emis gas buang yang diukur adalah Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) [11]. Data emisi akan dicatat secara manual menggunakan alat ukur uji emisi kendaraan berbahan bakar gasoline, dan setiap perlakuan pengujian akan diulang sebanyak 3 kali untuk mendapatkan informasi yang akurat.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian perbandingan emisi kendaraan bermotor dengan dua jenis bahan bakar BBA dan BBK, diukur pada beberapa kondisi gigi transmisi seperti disajikan pada Tabel 1. Parameter emisi yang ditampilkan meliputi karbon monoksida (CO, dalam persen volume) dengan nilai rata-rata adalah BBA 0,78%, BBK 0,86%. Secara umum, CO merefleksikan tingkat pembakaran tidak sempurna terkait rasio udara-bahan bakar dan efisiensi oksidasi CO menjadi CO₂. Selain itu, table tersebut juga menampilkan hasil analisis untuk parameter emisi hidrokarbon tak terbakar (HC, dalam ppm) nilai rata-rata yang tercantum adalah BBA 525,60 ppm, BBK 854,80 ppm. HC menunjukkan fraksi bahan bakar yang tidak terbakar sempurna, dipengaruhi oleh karakteristik pencampuran, geometri ruang bakar, waktu pengapian, temperatur dinding silinder, dan sifat bahan bakar [12]. Uji pada berbagai gigi transmisi memberi gambaran bagaimana beban dan putaran memengaruhi emisi.

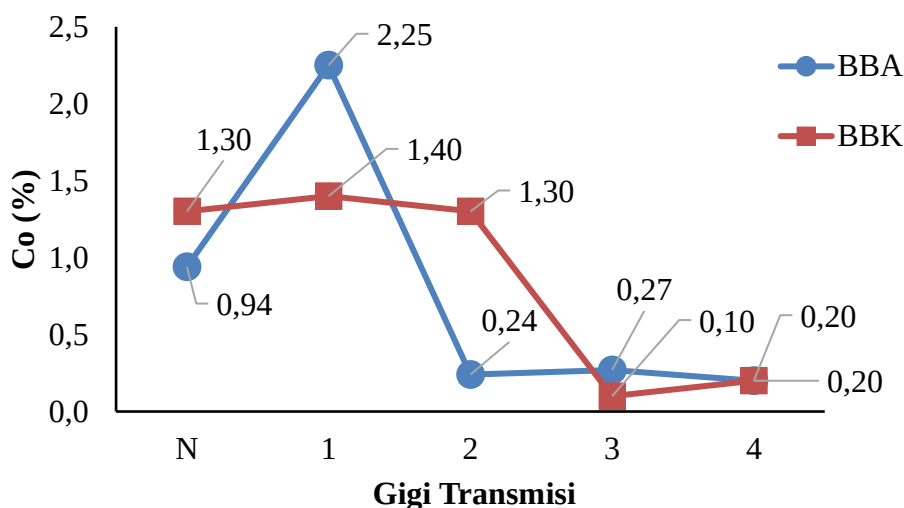
Tabel 1. Perbandingan kadar HC dan CO antara BBA dan BBK pada tiap posisi gigi transmisi

Gigi Transmisi	CO (%)		HC (PPM)	
	BBA	BBK	BBA	BBK
N	0,94	1,30	551,00	870,00
1	2,25	1,40	1332,00	873,00
2	0,24	1,30	172,00	874,00
3	0,27	0,10	212,00	828,00
4	0,20	0,20	361,00	829,00

Berdasarkan Tabel 1 posisi gigi transmisi N (netral) nilai emisi CO BBA 0,94% lebih rendah dari BBK 1,30%; HC BBA 551 ppm lebih rendah dari BBK 870 ppm. Pada kondisi tanpa beban, diferensiasi terutama menggambarkan karakteristik dasar pembakaran dan kontrol idle. BBK menampilkan CO dan HC lebih tinggi, menandakan pembakaran idle yang lebih kaya atau kurang stabil. Kemudian Gigi 1 nilai emisi CO BBA 2,25% jauh lebih tinggi dari BBK 1,40%, sedangkan HC BBA 1332 ppm kontra BBK 873 ppm. Pada kondisi traksi awal (beban tinggi, kecepatan rendah), BBA memunculkan lonjakan CO dan HC. Ini bisa menandakan campuran menjadi terlalu kaya untuk BBA di fase akselerasi awal atau atomisasi kurang baik [13]. Selanjutnya Gigi 2 nilai emisi CO BBA 0,24% lebih rendah dibanding BBK 1,30%; HC BBA 172 ppm jauh lebih rendah daripada BBK 874 ppm. Pada kecepatan sedikit lebih tinggi dan beban menengah, BBA menunjukkan pembakaran yang lebih bersih. Sementara itu untuk Gigi 3 nilai emisi CO BBA 0,27% lebih tinggi dari BBK 0,10%, tetapi HC BBA 212 ppm jauh lebih rendah dari BBK 828 ppm. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pada beban

menengah-tinggi, BBK sangat rendah CO namun tetap tinggi HC, menandakan ketidaklengkapan pembakaran sebagian (*quenching atau misfire ringan*). Sedangkan yang terakhir Gigi 4 nilai emisi CO sama (0,20% vs 0,20%), HC BBA 361 ppm lebih rendah dari BBK 829 ppm. Pada kecepatan lebih stabil, BBK tetap mempertahankan HC yang relatif tinggi.

Berdasarkan hasil di tersebut, meski CO rata-rata BBK sedikit lebih tinggi (0,86% vs 0,78%), perbedaan tidak besar, sedangkan HC BBK jauh lebih tinggi (854,8 vs 525,6 ppm). Secara kualitas, BBA cenderung menghasilkan HC yang lebih rendah pada sebagian besar kondisi gigi, kecuali pada gigi 1. Hal ini penting karena HC merupakan prekursor ozon troposferik dan berkontribusi pada kabut asap fotokimia [14].

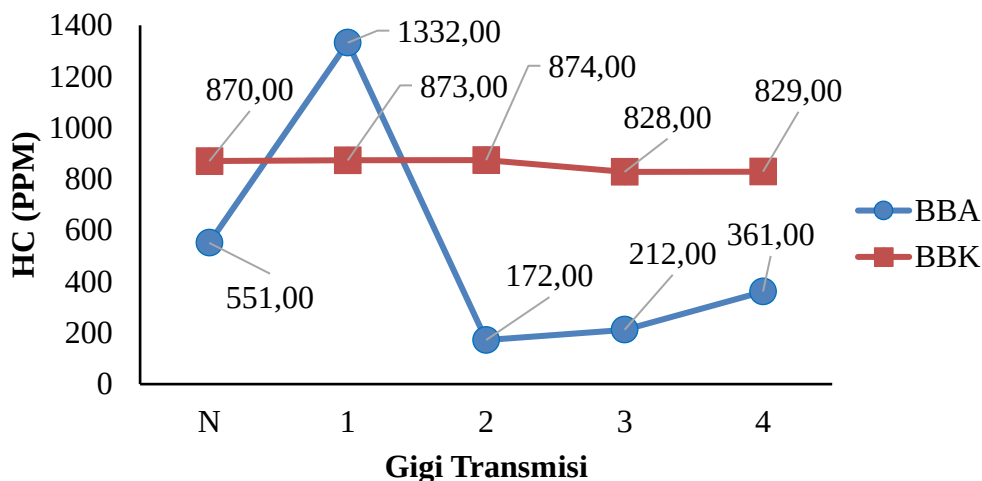


Gambar 1. Kadar CO pada BBA dan BBK pada tiap posisi gigi transmisi

Selain dari Tabel 1, kadar CO yang disebabkan dari karakteristik pembakaran BBA dan BBK yang disajikan pada Gambar 1 berbeda pada fase beban awal. Pada posisi gigi transmisi netral, BBA menghasilkan CO lebih rendah dibanding BBK, menandakan pembakaran idle yang relatif lebih stabil. Namun pada gigi 1, CO BBA meningkat drastis hingga 2,25%, yang mengindikasikan terjadinya pengayaan campuran atau atomisasi yang tidak sempurna pada fase akselerasi. Memasuki gigi 2 hingga 4, CO BBA turun tajam dan berada di bawah BBK, menunjukkan bahwa BBA mengalami pembakaran yang lebih efisien pada kondisi beban menengah–tinggi. Pola ini mengonfirmasi bahwa perbedaan volatilitas, AFR, dan kecepatan nyala berpengaruh langsung terhadap variasi emisi CO di tiap tahap operasi mesin.

Sementara itu berdasarkan Gambar 2, karakteristik emisi HC memperkuat indikasi bahwa BBA memiliki potensi pembakaran yang lebih bersih. Pada sebagian besar posisi gigi, emisi HC dari BBA jauh lebih rendah dibanding BBK, terutama pada gigi 2, 3, dan 4, yang menunjukkan bahwa fraksi bahan bakar yang tidak terbakar lebih sedikit. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kondisi mesin stabil, BBA mengalami atomisasi lebih baik, pembentukan spray lebih homogen, dan memungkinkan propagasi nyala yang lebih merata. Namun, lonjakan HC pada gigi 1 hingga 1332 ppm menunjukkan bahwa pada fase akselerasi awal, proses pencampuran udara–bahan bakar untuk BBA belum optimal, sehingga sebagian bahan bakar tidak terbakar sempurna. Perbedaan CO dan HC antara BBA dan BBK kemungkinan dipengaruhi oleh Volatilitas dan kurva distilasi, bahan bakar dengan volatilitas suboptimal dapat meningkatkan HC karena atomisasi buruk, menyebabkan liquid

films di dinding silinder dan fuel impingement [12]. Jika BBK memiliki fraksi berat lebih tinggi atau aditif yang mengubah volatilitas, HC bisa meningkat. Kemungkinan lain penyebab perbedaan tersebut adalah Indeks oksigen dalam bahan bakar, bahan bakar beroksigen cenderung menurunkan CO melalui pembakaran lebih lengkap, namun jika strategi pengayaan tidak disesuaikan, bisa meningkatkan HC karena flame quenching dan misfire pada kondisi dingin/idle.



Gambar 2. Kadar HC pada BBA dan BBK pada tiap posisi gigi transmisi

Hasil penelitian tersebut menunjukkan CO BBK tidak selalu lebih rendah, pada beberapa titik BBK justru lebih tinggi CO (posisi netral dan gigi 2), sehingga BBK kemungkinan bukan sekadar bahan bakar oksigenasi yang optimal atau kontrol mesin belum terkalibrasi untuk BBK. Selain itu, kemungkinan penyebab perbedaan adalah AFR (air-fuel ratio), CO tinggi di gigi 1 pada BBA menunjukkan campuran kaya saat akselerasi. Sebaliknya, BBK menampilkan HC tetap tinggi pada gigi 2–4, yang dapat menandakan variasi AFR, kemungkinan terjadi stratifikasi campuran, atau keterlambatan pengapian relatif terhadap kondisi beban [13]. Kecepatan pembakaran dan angka oktan: Jika perbedaan angka oktan atau kecepatan nyala (*laminar flame speed*) terdapat antara BBA dan BBK, maka timing pengapian optimal bisa berbeda. Timing yang kurang optimal meningkatkan HC dan kadang CO, khususnya pada beban menengah [15].

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Bahan Bakar Alternatif (BBA) dari limbah plastik menghasilkan emisi HC yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan Bahan Bakar Komersial (BBK), yaitu 525,60 ppm dibanding 854,80 ppm, sehingga berpotensi lebih ramah lingkungan. Emisi CO antara kedua bahan bakar relatif serupa, meskipun BBA menunjukkan peningkatan CO dan HC pada fase akselerasi awal (Gigi 1). Perbedaan emisi dipengaruhi oleh volatilitas, rasio udara–bahan bakar, serta karakteristik pembakaran masing-masing bahan bakar. Secara keseluruhan, BBA memiliki prospek sebagai bahan bakar alternatif yang berkelanjutan, namun memerlukan optimasi lebih lanjut pada kondisi beban awal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.
- [2] Environmental Protection Agency (EPA). (2020). Greenhouse Gas Emissions. <https://www.epa.gov/ghgemissions>.
- [3] Vikas Sharma, Abul Kalam Hossain, Gareth Griffiths, Ganesh Duraisamy, Anand Krishnasamy, Vinu Ravikrishnan, José Ricardo Sodr . Journal of Cleaner Production. (2020). "Plastic Waste to Liquid Fuel: A Review on the Recent Conversion Technologies." Volume 53, Part C, October 2022, 102651. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138822007007>.
- [4] Subekti P, Suripto H, Hidayat R. (2023). Pengaruh Temperatur Pirolisis Limbah Plastik Kemasan Gelas Air Mineral Terhadap Produksi Bahan Bakar Alternatif. J APTEK. 2023 16 (1). 89-92. <https://journal.upp.ac.id/index.php/aptek/article/view/2221/1298>.
- [5] United Nations Environment Programme (UNEP). (2018). Single-use Plastics: A Roadmap for Sustainability. <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>.
- [6] International Energy Agency (IEA). (2021). Global Energy Review 2021. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>.
- [7] Hidayat R, Subekti P, Suripto H. (2024). Pembuatan Bahan Bakar Alternatif dari Limbah Plastik dan Uji Kinerja pada Motor 4 Tak 100 CC. Jurnal Energi dan Inovasi Teknologi (ENOTEK), Vol 4, No. 1, (Oktober 2024) Hal. 17 – 22. <https://journal.upp.ac.id/index.php/Enotek/article/view/2485>.
- [8] Subekti P, Suripto H, Aprizal, Jhonni Rahman, Hatika RG, Sohibun (2025). Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar dari Limbah Plastik Kemasan Gelas Air Mineral Merek XX dengan Bahan Bakar Komersial pada Aplikasi Kerja Motor Bakar 100 CC. <https://publikasi.kocenin.com/index.php/pakar/article/view/606/496>.
- [9] Azizah N, Suripto H, Subekti P. (2023). Uji Fisik Bahan Bakar Alternatif dari Pirolisis Limbah Plastik Kombinasi dengan Karet Ban Bekas. J ENOTEK. 2023: 3(1): 21–25. <https://journal.upp.ac.id/index.php/Enotek/article/view/2218/1277>.
- [10] Pratama AA, Subekti P, Fathoni A. Pengaruh Perbedaan Transmisi Kendaraan Bermotor Berbahan Bakar Alternatif Limbah Plastik Terhadap Emisi Gas Buang. Jurnal Energi dan Inovasi Teknologi (ENOTEK), Vol 4, No. 2, (April 2025) Hal. 74 – 78. <https://journal.upp.ac.id/index.php/Enotek/article/view/3182>.
- [11] Rybak A, Hunicz J, Szpica D, Mikulski M, G ca M, Wo  P. (2024). Comparative analysis of waste-derived pyrolytic fuels applied in a contemporary compression ignition engine. Combustion Engines. 2024;198(3):74-81. <https://doi.org/10.19206/CE-186697>.
- [12] Heywood, J. B. (2018). Internal combustion engine fundamentals (2nd ed.). McGraw-Hill Education. <http://bit.ly/4nDT21I>.
- [13] Stone, R. (2012). Introduction to internal combustion engines (4th ed.). Palgrave Macmillan. <http://bit.ly/3VWbBT8>.
- [14] United States Environmental Protection Agency. (2023). Integrated science assessment for ozone and related photochemical oxidants. U.S. EPA. <http://bit.ly/4mrc76A>.
- [15] Turns, S. R. (2013). An introduction to combustion: Concepts and applications (3rd ed.). McGraw-Hill. <https://l1nq.com/NJB9y>.