

**ANALISIS KARAKTERISTIK PENGUAPAN CAMPURAN BAHAN BAKAR SOLAR
PERTAMINA DEX DENGAN BUTANOL SEBAGAI ALTERNATIF ENERGI YANG
BERSIH**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sastra Satu (S-1) Program
Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang*



★ ★ Disusun Oleh : ★ ★
Fahrul Rozziq Hidayat
NPM : 21801052038

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
2025**

ABSTRACT

Environmental problems and world dependence on fossil fuels continue to be a major concern in global energy policy. This study aims to assess how the nature of mixed fuel evaporation affects the combustion process, energy efficiency, and emission formation in diesel engines. This study uses a laboratory experimental approach, which aims to determine the characteristics of evaporation of diesel fuel mixtures and butanol with composition variations. Experiment is carried out in a controlled condition to analyze the physical phenomenon of the fuel evaporation process. The S95B5 fuel mixture shows a relatively slower increase in temperature in the early stages of heating compared to pure diesel (S100). The S95B5 mixture is easier to form steam at low temperatures, which is seen from lower temperature stability at the beginning of heating. This indicates that butanol increases the overall fuel volatility, so as to speed up the evaporation process when heating takes place. The S95B5 mixture has a flame point of 47.5 °C, which is significantly lower compared to pure diesel (S100) of 63 °C based on literature data. This decrease directly shows that the fuel mixture containing butanol is more flammable, because fuel vapor is easily formed at lower temperatures and can light quickly when in contact with the source of the fire. The addition of 5% N-butanol to diesel (S95B5) generally provides significant changes to the physical and thermal characteristics of fuel, as well as increasing the potential performance in the initial combustion process.



ABSTRAK

Permasalahan lingkungan dan ketergantungan dunia terhadap bahan bakar fosil terus menjadi perhatian utama dalam kebijakan energi global. Penelitian ini bertujuan untuk menilai bagaimana sifat penguapan bahan bakar campuran memengaruhi proses pembakaran, efisiensi energi, dan pembentukan emisi di mesin diesel. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium, yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik penguapan campuran bahan bakar solar dan butanol dengan variasi komposisi. Eksperimen dilakukan dalam kondisi terkendali untuk menganalisis fenomena fisik dari proses evaporasi bahan bakar. Campuran bahan bakar S95B5 menunjukkan kenaikan suhu yang relatif lebih lambat pada tahap awal pemanasan dibandingkan dengan solar murni (S100). Campuran S95B5 lebih mudah membentuk uap pada suhu rendah, yang terlihat dari kestabilan suhu yang lebih rendah di awal pemanasan. Hal ini mengindikasikan bahwa butanol meningkatkan volatilitas bahan bakar secara keseluruhan, sehingga dapat mempercepat proses penguapan saat pemanasan berlangsung. Campuran S95B5 memiliki titik nyala sebesar 47,5 °C, yang lebih rendah secara signifikan dibandingkan dengan solar murni (S100) sebesar 63 °C berdasarkan data literatur. Penurunan ini secara langsung menunjukkan bahwa campuran bahan bakar yang mengandung butanol lebih mudah terbakar, karena uap bahan bakar mudah terbentuk pada suhu yang lebih rendah dan dapat menyala dengan cepat saat kontak dengan sumber api. Penambahan 5% n-butanol ke dalam solar (S95B5) secara umum memberikan perubahan yang signifikan terhadap karakteristik fisik dan termal bahan bakar, serta meningkatkan potensi performa dalam proses pembakaran awal.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan lingkungan dan ketergantungan dunia terhadap bahan bakar fosil terus menjadi perhatian utama dalam kebijakan energi global. Diesel, yang banyak digunakan dalam mesin pembakaran internal, dikenal akan efisiensinya namun tetap menjadi penyumbang signifikan terhadap pencemaran udara. Emisi dari pembakaran diesel, seperti partikulat (PM), nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), dan hidrokarbon tak terbakar (UHC), berdampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Chen et al., 2013; Li et al., 2018).

Dengan meningkatnya tekanan untuk mengurangi emisi karbon dan memenuhi target energi berkelanjutan, para peneliti telah mengeksplorasi berbagai alternatif, termasuk penggunaan *blending fuels* yang menggabungkan bahan bakar fosil dengan senyawa alkohol seperti butanol. Dibandingkan etanol dan metanol, butanol (terutama n-butanol) memiliki beberapa keunggulan seperti nilai kalor tinggi, titik didih yang lebih tinggi, serta kompatibilitas yang baik dengan sistem injeksi bahan bakar mesin diesel (Altun et al., 2011; Zhang et al., 2022). Selain itu, n-butanol dapat diperoleh dari sumber terbarukan seperti biomassa melalui fermentasi ABE (acetone-butanol-ethanol), menjadikannya kandidat penting dalam pengembangan bahan bakar bio-campuran (Algayyim & Wandel, 2022).

Salah satu aspek krusial dalam penggunaan campuran diesel-butanol adalah karakteristik penguapannya. Proses penguapan memengaruhi homogenitas campuran udara-bahan bakar sebelum proses pembakaran berlangsung. Butanol, dengan *latent heat of vaporization* yang lebih tinggi dibandingkan diesel, mempengaruhi pendinginan lokal di dalam silinder pembakaran yang berdampak pada formasi NO_x dan efisiensi termal (Tipanluisa et al., 2022; Mahla et al., 2023).

Beberapa studi menunjukkan bahwa penambahan butanol ke dalam diesel dapat menurunkan emisi NO_x dan partikel melalui efek pendinginan penguapan, walaupun efek ini bergantung pada konsentrasi campuran dan kondisi operasi mesin (Yilmaz et al., 2014; Zhang et al., 2019). Di sisi lain, penggunaan butanol dapat memperpanjang *ignition delay* dan

mempercepat *premixed combustion phase* yang dapat meningkatkan tekanan puncak dan efisiensi pembakaran (Xia et al., 2019; Singh et al., 2020).

Oleh karena itu, penting dilakukan analisis lebih lanjut mengenai perilaku penguapan campuran solar-butanol dengan variasi konsentrasi yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk menilai bagaimana sifat penguapan bahan bakar campuran memengaruhi proses pembakaran, efisiensi energi, dan pembentukan emisi di mesin diesel. Studi ini akan memberikan kontribusi penting dalam pengembangan bahan bakar alternatif yang lebih bersih dan efisien dalam mendukung transisi energi yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana profil penguapan dari campuran 5% butanol dan 95% Pertamina Dex dibandingkan dengan Pertamina Dex murni (100%)?
2. Bagaimana karakteristik titik nyala dari campuran 5% butanol dan 95% Pertamina Dex dibandingkan dengan Pertamina Dex murni?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan kedalaman analisis, penelitian ini dibatasi pada:

1. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah solar komersial dan n-butanol.
2. Analisis dilakukan pada karakteristik penguapan (evaporasi) secara termal dan visual melalui uji laboratorium.
3. Tidak mencakup pengujian langsung pada mesin atau performa pembakaran.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis profil penguapan dari campuran 5% butanol dan 95% Pertamina Dex dibandingkan dengan Pertamina Dex murni.
2. Mengidentifikasi dan membandingkan karakteristik titik nyala dari kedua jenis bahan bakar tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi ilmiah mengenai perilaku penguapan campuran solar dan butanol.
2. Menjadi dasar pertimbangan dalam pengembangan bahan bakar campuran alternatif yang ramah lingkungan.

3. Mendorong penelitian lebih lanjut terkait performa pembakaran dan emisi dari bahan bakar campuran.



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan mengenai karakteristik penguapan dan titik nyala dari bahan bakar Pertamina Dex (S100) dan campurannya dengan 5% butanol (S95B5), maka dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Perilaku Termal:

Campuran bahan bakar S95B5 menunjukkan kenaikan suhu yang relatif lebih lambat pada tahap awal pemanasan dibandingkan dengan solar murni (S100). Hal ini disebabkan oleh karakteristik termofisika dari n-butanol, yang memiliki kalor penguapan (latent heat) yang lebih tinggi dibandingkan senyawa hidrokarbon dalam solar. Butanol memerlukan energi tambahan untuk mencapai perubahan fasa dari cair menjadi uap, sehingga menyerap lebih banyak panas pada awal proses pemanasan. Namun demikian, seiring dengan peningkatan volume dan waktu pemanasan, suhu bahan bakar campuran mulai mendekati suhu solar murni, dan bahkan pada titik volume maksimum (30 mL), suhu S95B5 sedikit melampaui suhu S100, yakni 312°C dibandingkan 310°C. Hal ini menunjukkan bahwa setelah melewati fase inersia termal awal, campuran butanol mampu menyesuaikan dan menunjukkan kestabilan termal yang kompetitif, bahkan lebih tinggi dari bahan bakar murni.

2. Volatilitas dan Potensi Penguapan:

Meskipun dalam penelitian ini tidak dilakukan pengukuran massa evaporasi secara langsung, interpretasi volatilitas dilakukan berdasarkan respon suhu terhadap pemanasan. Hasil menunjukkan bahwa campuran S95B5 lebih mudah membentuk uap pada suhu rendah, yang terlihat dari kestabilan suhu yang lebih rendah di awal pemanasan. Hal ini mengindikasikan bahwa butanol meningkatkan volatilitas bahan bakar secara keseluruhan, sehingga dapat mempercepat proses penguapan saat pemanasan berlangsung. Dalam konteks penggunaannya pada mesin diesel, peningkatan volatilitas ini memberikan keuntungan, karena memungkinkan terjadinya pembentukan uap bahan bakar lebih cepat, yang kemudian mendukung proses atomisasi dan pencampuran bahan bakar dengan udara

secara lebih homogen. Kombinasi tersebut sangat penting untuk meningkatkan efisiensi pembakaran, terutama pada sistem injeksi tekanan tinggi.

3. Titik Nyala:

Hasil uji titik nyala menunjukkan bahwa campuran S95B5 memiliki titik nyala sebesar 47.5°C , yang lebih rendah secara signifikan dibandingkan dengan solar murni (S100) sebesar 63°C berdasarkan data literatur. Penurunan ini secara langsung menunjukkan bahwa campuran bahan bakar yang mengandung butanol lebih mudah terbakar, karena uap bahan bakar mudah terbentuk pada suhu yang lebih rendah dan dapat menyala dengan cepat saat kontak dengan sumber api. Dari sisi aplikasi, karakteristik ini memberikan keuntungan dalam proses cold-start mesin diesel, yaitu pada saat suhu lingkungan rendah dan mesin membutuhkan bahan bakar yang cepat menyala untuk menghindari misfire atau pembakaran tidak sempurna. Namun, penurunan titik nyala juga menimbulkan tantangan dalam aspek keselamatan, karena bahan bakar menjadi lebih rentan terhadap penyalan spontan saat disimpan dalam lingkungan bersuhu tinggi. Oleh karena itu, penggunaan bahan bakar campuran seperti ini harus dibarengi dengan protokol penyimpanan dan distribusi yang aman dan sesuai standar.

4. Kelayakan Sebagai Bahan Bakar Alternatif:

Penambahan 5% n-butanol ke dalam solar (S95B5) secara umum memberikan perubahan yang signifikan terhadap karakteristik fisik dan termal bahan bakar, serta meningkatkan potensi performa dalam proses pembakaran awal. Campuran ini terbukti mampu menunjukkan perilaku termal yang efisien setelah fase pemanasan awal terlewati dan memperlihatkan kecenderungan volatilitas yang tinggi, yang dapat menguntungkan dalam membentuk campuran homogen di dalam ruang bakar. Dengan demikian, S95B5 dapat dipertimbangkan sebagai bahan bakar alternatif yang layak digunakan, terutama pada sistem mesin diesel modern yang mendukung bahan bakar campuran.

Namun demikian, perlu ditekankan bahwa meskipun campuran ini menunjukkan kinerja positif dari aspek penguapan dan pembakaran awal, terdapat tantangan dari sisi penyimpanan dan keamanan, khususnya karena titik nyala yang lebih rendah. Oleh karena itu, disarankan agar dilakukan pengujian lebih lanjut secara langsung pada mesin diesel, termasuk analisis performa menyeluruh (torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik), uji emisi gas buang (CO , NO_x , HC , dan partikulat), serta pengaruh terhadap komponen sistem

injeksi dan ruang bakar dalam jangka panjang. Dengan pengujian lanjutan tersebut, pemanfaatan butanol sebagai aditif bahan bakar tidak hanya akan terbukti secara laboratorium, tetapi juga secara praktis dan aplikatif dalam mendukung transisi menuju energi bersih dan terbarukan.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dan pemanfaatan bahan bakar campuran solar-butanol dalam skala aplikasi nyata, berikut beberapa saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Melakukan Pengujian Langsung pada Mesin Diesel:
 - Pengujian pada mesin diesel akan memberikan data yang lebih komprehensif terkait unjuk kerja, efisiensi bahan bakar, dan karakteristik emisi gas buang.
2. Menambahkan Variasi Komposisi Campuran:
 - Penelitian lanjutan sebaiknya mencakup variasi konsentrasi butanol (misalnya 10%, 20%, hingga 40%) untuk mengetahui titik optimal campuran yang paling efisien dan aman.
3. Menggunakan Metode Kuantitatif untuk Uji Penguapan:
 - Sebaiknya dilakukan pengukuran penurunan massa bahan bakar secara langsung untuk menghitung laju penguapan aktual dan membandingkan efektivitas masing-masing jenis campuran.
4. Menganalisis Emisi dan Stabilitas Pembakaran:
 - Studi lanjutan disarankan untuk fokus pada pengaruh campuran butanol terhadap pembentukan emisi (NO_x, CO, HC, dan partikulat), serta stabilitas nyala api dan tekanan puncak pembakaran dalam silinder.
5. Memastikan Kalibrasi dan Akurasi Alat Uji:
 - Validasi alat uji seperti flash point tester perlu dipastikan agar data yang dihasilkan valid dan representatif terhadap kondisi bahan bakar aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Hardjono. 2007. Teknologi Minyak Bumi. Yogyakarta: Gajah Mada University press. Hal. 87-96.
- Algayyim, S. J. M., & Wandel, A. P. (2022). Performance and emission levels of butanol, acetone-butanol-ethanol, butanol-acetone/diesel blends in a diesel engine. *Biofuels*, 13(4), 393–402.
- Altun, S., Oner, C., Yasar, F., & Adin, H. (2011). Effect of *n*-butanol blending with a blend of diesel and biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(15), 9345–9351.
- Chen, Z., Liu, J., Han, Z., Du, B., Liu, Y., & Lee, C. (2013). Study on performance and emissions of a passenger-car diesel engine fueled with butanol–diesel blends. *Energy*, 55, 638–646.
- Hossain A. B. M. S., Nasrulhaq Boyce A., Salleh A. and Chandran S. 2010. Biodiesel production from waste soybean oil biomass as renewable energy and environmental recycled process. Programme of Biotechnology, Institute of Biological Sciences, Faculty of Science, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia. Hal. 4234.
- Hossain et al. 2010. Effect of seed clove size on growth and yield of two lines of garlic under dryland condition at BAU, Mymensingh. *J of Agroforestry and Environment* 4(2): 151-54
- Maarif, Syamsul Dwi. 2022 Bunyi Surat Al-Hujurat: 13 Soal Toleransi & Menghargai Perbedaan, Pendidikan Agama Islam, November 22, 2022, <https://tirto.id/bunyi-surat-al-hujurat-13-soal-toleransi-menghargai-perbedaan-gy1u>
- Mahla, S. K., Goga, G., Cho, H. M., & Dhir, A. (2023). Separate effect of biodiesel, *n*-butanol, and biogas on performance and emission characteristics of diesel engine: A review. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
- PT Pertamina (Persero). (2023). Annual Report PT Pertamina (Persero) Tahun 2023
- S Amin. 2007. Cara Memproduksi Biodiesel Dari Berbagai Bahan Baku Nabati. Serpong: BPPT PRESS dalam Sri Poernomo Sari dan Dian Permana Putra. 2012. Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Biodiesel M30 Dari Minyak Jelantah Dengan Katalis 0,25% Naoh Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel S-1110. Universitas Guna Dharma.
- Sastrohamidjojo, Hardjono. 2007. Kromatografi Edisi II Cetakan Keempat. Yogyakarta: Liberty.

- Singh, R., Singh, S., & Kumar, M. (2020). Impact of *n*-butanol as an additive with eucalyptus biodiesel–diesel blends on the performance and emission parameters of the diesel engine. *Fuel*, 278, 118178.
- Tipanluisa, L., Thakkar, K., Fonseca, N., Lee, C. F., & Armas, O. (2022). Investigation of diesel/*n*-butanol blends as drop-in fuel for heavy-duty diesel engines: Combustion, performance, and emissions. *Energy Conversion and Management*, 259, 115492.
- Xia, Q., Wang, K., Han, Z., & Tian, W. (2019). A comparative study of combustion and emission characteristics of butanol isomers on a diesel engine with dual fuel butanol isomers/diesel compound combustion. *Fuel*, 253, 1234–1245.
- Yilmaz, N., Vigil, F. M., Benalil, K., Davis, S. M., & Calva, A. (2014). Effect of biodiesel–butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine. *Fuel*, 135, 46–50.
- Zhang, X., Li, T., He, R., & Chen, R. (2019). Study on the physicochemical properties and spray and combustion characteristics of 1-butanol/diesel fuel blends in a constant-volume combustion chamber. *Energy*

