



Pengaruh Adisi Nano-TiO₂ pada Bahan Bakar Diesel Pertamina Dex pada Emisi Gas Buang

Aditya Dharmawan^{1*}, Pangeran Rafli Pasha¹, Restu Ramadhani Pratama Putra¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada No. 38, Cepu, 58315

*E-mail: aditya.dharmawan@esdm.go.id

Abstract

The increase in the number of diesel vehicles in Indonesia leads to increased demand for diesel fuel energy, so the use of fuel must be managed as effectively and efficiently as possible. In this research, the addition of TiO₂ nanoparticle additives to Pertamina Dex was carried out, using ultrasonic bath method. Each batch of synthesis was carried out in a capacity of 200 mL for 20 minutes, with a loading variation of Nano-TiO₂ in Pertamina Dex from 0 mg/L to 200 mg/L. Then they were tested for physical properties such as density, viscosity, flash point and calorific value. They also tested for emission test. It was found that physical properties such as density, viscosity, flash point and calorific value of Pertamina Dex-Nano TiO₂ did not change significantly. As of emission test, hydrocarbon emission test result showed 80% decrease, NO_x emission test result showed 51% decrease, CO emission test result showed 47% decrease, CO₂ emission test result showed 29% increase. Decrease of NO_x achieved by lowering peak flame temperature after Nano-TiO₂ was added. Decrease of hydrocarbon, decrease of CO and increase of CO₂ emission achieved by higher rate of perfect combustion, from O₂ supplied by Nano-TiO₂.

Keywords: Nano-TiO₂; Pertamina Dex; Ultrasonic Bath; Physical Properties; Emission Test

Pendahuluan

Badan Pusat Statistik mengatakan, di negara Indonesia, jumlah kendaraan dengan mesin diesel meningkat sejumlah 0,5% setiap tahunnya sejak tahun 2014 sampai 2018. Peningkatan ini berhubungan dengan penambahan jumlah penduduk Indonesia yang semakin bertambah. Peningkatan armada kendaraan dengan mesin diesel menjadi penyebab atas menambahnya kebutuhan energi dari bahan bakar minyak mesin diesel. IEA menyebutkan adanya penambahan pemakaian energi sejumlah 28% dalam rentang waktu 2015 – 2040. Melihat jumlah bahan bakar fosil yang tersedia di alam jumlah semakin sedikit, pemakaian bahan bakar berbasis fosil perlu diatur sebijak mungkin.

Beberapa cara yang dilakukan untuk menaikkan kinerja dari bahan bakar berbasis fosil yaitu dengan adisi senyawa TiO₂ sebagai zat aditif ke dalam bahan bakar minyak jenis diesel maupun biodiesel. Penelitian – penelitian sudah dilakukan sebelumnya untuk memangkas emisi hidrokarbon, CO, NO_x, SO_x, dan CO₂. Salah satunya dilakukan oleh D'Silva pada tahun 2015 yaitu adisi nano-TiO₂ sejumlah 250 mg/L dalam bahan bakar mesin diesel bertipe C.I., didapatkan penurunan emisi CO sejumlah 25% dan hidrokarbon sejumlah 18%. Praveen pada tahun 2017, adisi 40 ppm senyawa nano-TiO₂ dalam senyawa biodiesel dengan bahan dasar Calophyllum inophyllum, didapatkan penurunan emisi hidrokarbon sejumlah 12% dan emisi CO sejumlah 23%. Jayabalaji pada tahun 2019, adisi nano-TiO₂ sejumlah 5% pada bahan bakar hibrid diesel dengan bahan bakar biodiesel dengan bahan dasar Aphanizomenon Flos, didapatkan pengurangan emisi hidrokarbon dan CO sejumlah 27%.

Pada riset ini dikerjakan adisi senyawa Nano-TiO₂ pada Pertamina Dex, dilakukan dilakukan dispersi Nano-TiO₂ dalam Pertamina Dex menggunakan gelombang ultrasonik dengan media air (D'Silva dan lainnya, 2015). Kemudian dilanjutkan dengan uji densitas, viskositas, titik nyala, nilai kalor, dan hasil uji emisinya. Dari penelitian ini didapatkan metode sintesis yang menghasilkan loading Nano-TiO₂ yang memberikan hasil penurunan emisi terbaik.

Metode Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan bersifat kuantitatif maupun kualitatif. Metode kualitatif dapat dilihat dengan cara penglihatan kasat mata sampel bahan bakar diesel yang telah diberikan adisi TiO₂. Metode kuantitatif berupa karakterisasi nilai kalor secara numerik, serta analisis percobaan perhitungan gas buang.

Adapun dalam riset ini, bahan dipakai adalah bahan bakar minyak tipe diesel yang merupakan produk dari PT Pertamina dengan merk dagang Pertamina Dex, dan senyawa Nano-TiO₂ bermerk P25 Degussa. Gambar bahan dapat dilihat pada gambar 1 di bawah. Alat dipakai pada riset ini yaitu alat tes titik nyala pada solar, alat tes massa jenis



solar, alat tes angka kalor solar, alat tes kekentalan solar, bath ultrasonik, serta botol kontainer kaca untuk menyimpan sampel. Penelitian dilaksanakan pada 2 tempat, tahap sintesis di laboratorium hilir kampus PEM AKAMIGAS dan tahap pengujian emisi di bengkel mekanik ALIFIA di Blora.



Gambar 1. Bahan Nano-TiO₂ Degussa (kiri) dan Pertamina Dex (kanan)

Adisi senyawa Nano-TiO₂ menggunakan paparan dengan gelombang ultrasonik dilakukan sesuai dengan riset D'Silva dan lainnya tahun 2015 berjudul "Performance and Emission characteristics of a C.I. Engine fuelled with diesel and TiO₂ nanoparticles as fuel additive". Adisi dengan metode ultrasonik dikerjakan pada proses batch dengan volume mL dalam 1200 detik atau 20 menit, loading senyawa Nano-TiO₂ yang diadisi dilakukan dengan variasi 40 mg/L, 80 mg/L, 120 mg/L, 160 mg/L, 200 mg/L. Di laboratorium hilir kampus PEM AKAMIGAS dilakukan pengujian sifat fisik seperti angka kalor, massa jenis, kekentalan dan titik nyala. Pengambilan sampel diambil sebanyak 3 kali (triplo), yang kemudian dirata-ratakan. Sampel dengan loading 0 mg/L digunakan sebagai kontrol negatif. Pada bengkel ALIFIA di blora dilakukan uji emisi. Adapun parameter yang diuji adalah emisi NO_x, SO_x, CO, CO₂ dan hidrokarbon, adapun loading dari Nano-TiO₂ pada Pertamina Dex yaitu 100 mg/L dan 200 mg/L. Pengambilan sampel diambil sebanyak 3 kali (triplo), yang kemudian dirata-ratakan. Sampel dengan loading 0 mg/L digunakan sebagai kontrol negatif.

Hasil dan Pembahasan

a. Hasil Sintesis

Sintesis dilakukan dengan penambahan Nano-TiO₂ dan Pertamina Dex dalam kapasitas 200 mL dalam ultrasonic bath dalam 1200 detik. Loading Nano-TiO₂ pada Pertamina Dex yaitu 40 mg/L, 80 mg/L, 120 mg/L, 160 mg/L dan 200 mg/L, didapatkan hasil seperti gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Sintesis Pertamina Dex – Nano TiO₂

Seperti gambar 2 di atas, Pertamina Dex mengalami perubahan dari warna coklat kekuningan menjadi lebih putih, disebabkan karena nano-TiO₂ memiliki warna putih, menyebar ke seluruh penjurus Pertamina Dex. Dapat terlihat juga tingkat keputihannya juga bertambah seiring bertambahnya jumlah loading nano-TiO₂. Hal ini menunjukkan nano-TiO₂ terlarut pada Pertamina Dex. Batasan loading atas 200 mg/L dilakukan karena di atas loading 200 mg/L, nano-TiO₂ akan tidak larut (D'Silva dan lainnya, 2015). Tabel 1 di bawah ini menunjukkan perhitungan komponen fraksi massa dari masing – masing larutan. Dari tabel 1 di bawah, terlihat bahwa fraksi massa TiO₂ dibandingkan dengan Pertamina Dex sangatlah kecil, namun perubahan warna terlihat jelas karena TiO₂ berada dalam skala nano yang sangat kecil sehingga dapat terdispersi dengan baik dalam Pertamina Dex.

Tabel 1. Perhitungan Komposisi Massa Campuran Pertamina Dex – Nano TiO₂

kadar loading TiO ₂ (mg/L)	0	40	80	120	160	200
massa Pertamina Dex (mg)	836300	836300	836300	836300	836300	836300
massa TiO ₂ (mg)	0	40	80	120	160	200
massa total (mg)	836300	836340	836380	836420	836460	836500
fraksi massa pertamina dex	1,000000	0,999952	0,999904	0,999857	0,999809	0,999761
fraksi massa TiO ₂	0,000000	0,000048	0,000096	0,000143	0,000191	0,000239

b. *Pengujian Densitas*

Pengujian densitas dilakukan dengan alat pengukur densitas berupa densitometer. Didapatkan hasil seperti pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Pengukuran Densitas Pertamina Dex – Nano TiO₂

Loading Nano TiO ₂ (mg/L)	Data 1 (g/cm ³)	Data 2 (g/cm ³)	Data 3 (g/cm ³)	Rataan Densitas (g/cm ³)
0	0,8516	0,8519	0,8519	0,851
40	0,85197	0,852	0,852	0,8512
80	0,852	0,8519	0,852	0,8512
120	0,8519	0,8519	0,852	0,8512
160	0,8519	0,8519	0,8519	0,8511
200	0,8519	0,8519	0,8519	0,8511

Dari tabel 2, tidak terlihat perubahan berarti dari penambahan loading senyawa nano-TiO₂ dengan massa jenis, karena loading senyawa nano-TiO₂ sangat kecil pada sampel. Jika dihubungkan dengan rumus massa jenis campuran (1), peranan massa jenis TiO₂ sangatlah kecil. Seperti terlihat pada tabel 1 yang memperlihatkan fraksi massa dari senyawa nano-TiO₂ pada Pertamina Dex.

$$\rho_{campuran} = \sum \rho_i \cdot x_i = (\rho_{pertadex} \cdot x_{pertadex}) + (\rho_{TiO_2} \cdot x_{TiO_2}) \quad (1)$$

c. *Pengujian Viskositas*

Pengujian viskositas dilakukan dengan alat pengukur viskositas berupa viskometer. Didapatkan hasil seperti pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Pengukuran Viskositas Pertamina Dex – Nano TiO₂

Loading Nano TiO ₂ (mg/L)	Data 1 (mm ² /s)	Data 2 (mm ² /s)	Data 3 (mm ² /s)	Rataan Viskositas (mm ² /s)
0	5,3399	5,3399	5,7702	5,4833
40	5,5746	5,5746	5,5550	5,5681
80	5,4768	5,4768	5,4083	5,4540
120	5,1834	5,1834	5,1736	5,1801
160	5,0856	5,0660	5,1834	5,1117
200	5,7017	5,9951	5,5746	5,7572

Dari tabel 3, tidak terlihat perubahan berarti dari penambahan loading senyawa nano-TiO₂ dengan kekentalan, karena loading senyawa nano-TiO₂ sangat kecil pada sampel. Jika dihubungkan dengan rumus kekentalan campuran (2), peranan kekentalan TiO₂ sangatlah kecil. Seperti terlihat pada tabel 1 yang memperlihatkan fraksi massa dari senyawa nano-TiO₂ pada Pertamina Dex.

$$\mu_{campuran} = \sum \mu_i \cdot x_i = (\mu_{pertadex} \cdot x_{pertadex}) + (\mu_{TiO_2} \cdot x_{TiO_2}) \quad (2)$$

d. *Pengujian Titik Nyala*

Pengujian titik nyala dilakukan dengan metode ASTM D92-18. Didapatkan hasil seperti pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Pengukuran Titik Nyala Pertamina Dex – Nano TiO₂

Loading Nano TiO ₂ (mg/L)	Data 1 (°C)	Data 2 (°C)	Data 3 (°C)	Rataan Titik Nyala (°C)
0	72	72	72	72
40	73	72,5	72	72,5
80	73	72	72,5	72,5
120	71	70	72	71

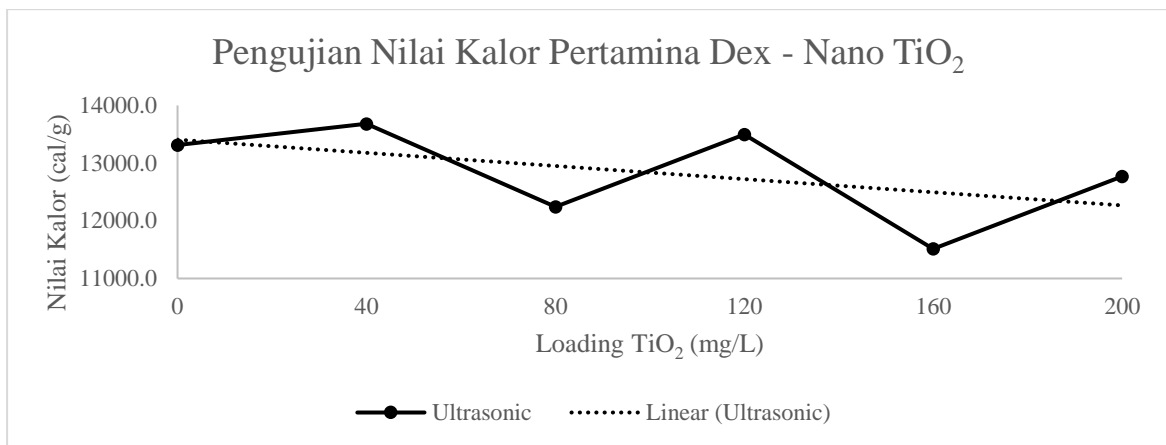
160	71,5	70	73	71,5
200	72	73	72,5	72,5

Dari tabel 4, tidak terlihat perubahan berarti dari penambahan loading senyawa nano-TiO₂ dengan titik nyala, karena loading senyawa nano-TiO₂ sangat kecil pada sampel. Jika dihubungkan dengan rumus titik nyala campuran (3), peranan titik nyala TiO₂ sangatlah kecil. Seperti terlihat pada tabel 1 yang memperlihatkan fraksi massa dari senyawa nano-TiO₂ pada Pertamina Dex.

$$LFL_{campuran} = \sum \frac{x_i}{LFL_i} = \left(\frac{x_{solar}}{LFL_{solar}} \right) + \left(\frac{x_{TiO_2}}{LFL_{TiO_2}} \right) \quad (3)$$

e. *Pengujian Nilai Kalor*

Pengujian nilai kalor dilakukan dengan perangkat kalorimeter. Sampel diukur dengan massa seragam sejumlah 0,2 gram dan panjang fusi 8 cm. Selanjutnya, sampel dimasukkan ke dalam perangkat dan dari perangkat secara otomatis akan melakukan analisa selama kurang lebih 5 menit. Selanjutnya, hasil analisis nilai kalor ditampilkan pada layar komputer. Didapatkan hasil seperti pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Hasil Uji Nilai Kalor Pertamina Dex – Nano TiO₂

Dari gambar 3 terlihat penurunan nilai kalor pada sampel. Hal ini disebabkan oleh intervensi TiO₂ pada campuran sampel Pertamina Dex sehingga berpengaruh pada perhitungan nilai kalor yang terdeteksi. Penurunan nilai kalor ini berpengaruh pada peningkatan BSFC (Brake-specific fuel consumption) pada mesin diesel. Peningkatan BSFC berarti penurunan efisiensi bahan bakar diesel (Yusof dan lainnya, 2020).

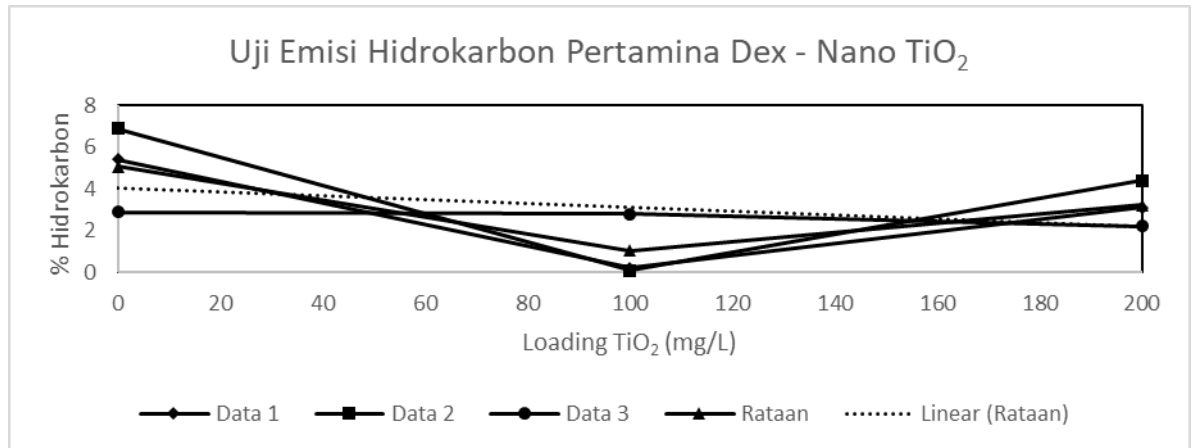
f. *Pengujian Emisi Hidrokarbon*

Pengujian emisi hidrokarbon dilakukan dengan perangkat uji emisi yang mampu menangkap partikulat emisi dan melihat besaran dari emisi hidrokarbon dari kertas saring khusus. Uji emisi hidrokarbon memakai sampel sejumlah 1 liter. Berikut perolehan hasil uji emisi hidrokarbon seperti pada tabel 5 & gambar 4.

Tabel 5. Hasil Uji Emisi Hidrokarbon Oleh Pertamina Dex – Nano TiO₂

Loading Nano TiO ₂ (mg/L)	Data 1 (%)	Data 2 (%)	Data 3 (%)	Rataan Emisi Hidrokarbon (%)
0	5,4	6,9	2,9	5,07
100	0,2	0,1	2,8	1,03
200	3,1	4,4	2,2	3,23

Terlihat dari tabel 5 dan gambar 4, terjadi pengurangan persentase dari emisi senyawa hidrokarbon dihubungkan dengan peningkatan loading senyawa nano-TiO₂. Hal itu menunjukkan adanya peningkatan jumlah dari pembakaran sempurna. Pada teorinya, pembakaran sempurna memakai oksigen dengan jumlah lebih banyak, dan sebaliknya pembakaran tidak sempurna memakai oksigen dengan jumlah lebih sedikit. Peran TiO₂ di sini juga menyumbangkan oksigen proses pembakaran sehingga koefisien stoikiometri untuk mencapai pembakaran sempurna tercapai. Pengujian emisi hidrokarbon menunjukkan adanya perubahan signifikan yaitu pengurangan emisi terbanyak yaitu 80% pada Pertamina Dex yang menggunakan loading TiO₂ yaitu sebesar 100 mg/L.



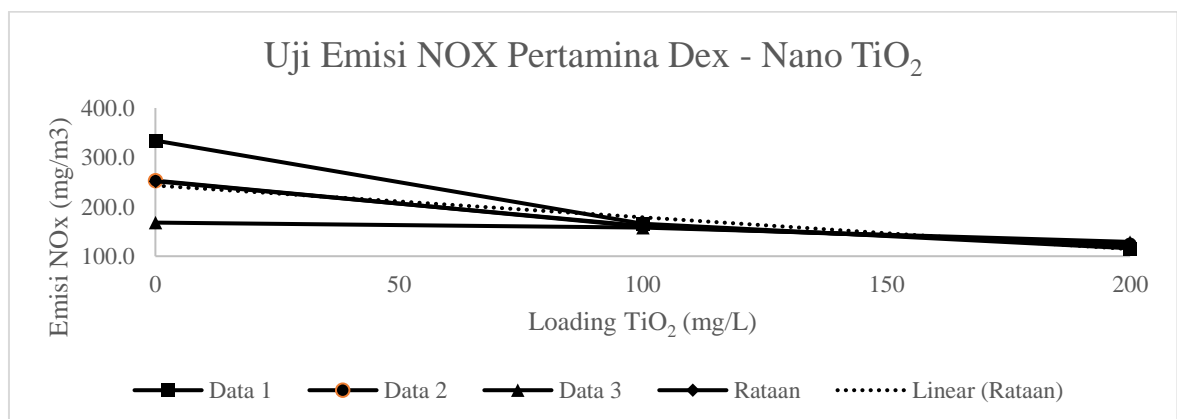
Gambar 4. Hasil Uji Emisi Hidrokarbon Oleh Pertamina Dex – Nano TiO₂

g. *Pengujian Emisi NO_x*

Pengujian emisi NO_x dilakukan dengan perangkat uji emisi yang mampu menangkap partikulat emisi dan melihat besaran dari emisi NO_x dari tampilan pada alat ukur. Uji emisi NO_x memakai sampel sejumlah 1 liter. Didapatkan hasil uji emisi NO_x seperti pada tabel 6 dan gambar 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Uji Emisi NO_x Oleh Pertamina Dex – Nano TiO₂

Loading Nano TiO ₂ (mg/L)	Data 1 (mg/m ³)	Data 2 (mg/m ³)	Data 3 (mg/m ³)	Rataan Emisi NO _x (mg/m ³)
0	334,0	253,0	168,0	251,7
100	166,0	160,0	158,0	161,3
200	116,0	124,0	129,0	123,0



Gambar 5. Hasil Uji Emisi NO_x Oleh Pertamina Dex – Nano TiO₂

Terlihat dari tabel 6 dan gambar 5, terjadi pengurangan persentase dari emisi senyawa NO_x dihubungkan dengan peningkatan loading senyawa nano-TiO₂. Penurunan kadar NO_x terjadi karena TiO₂ menurunkan peak flame temperature dari pembakaran sehingga menurunkan jumlah NO_x yang terbentuk dari pembakaran (Vellaiyan dan lainnya, 2019). Pengujian emisi hidrokarbon menunjukkan adanya perubahan signifikan dengan pengurangan emisi terbanyak yaitu 51% pada Pertamina Dex yang menggunakan loading TiO₂ yaitu sebesar 200 mg/L.

h. *Pengujian Emisi SO_x*

Pengujian emisi SO_x dilakukan dengan perangkat uji emisi yang mampu menangkap partikulat emisi dan melihat besaran dari emisi SO_x dari tampilan pada alat ukur. Uji emisi SO_x memakai sampel sejumlah 1 liter. Didapatkan hasil uji emisi SO_x seperti pada tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Hasil Uji Emisi SO_x Pertamina Dex – Nano TiO₂

Loading Nano TiO ₂ (mg/L)	Data 1 (mg/m ³)	Data 2 (mg/m ³)	Data 3 (mg/m ³)	Rataan Hasil Uji Emisi SO _x (mg/m ³)
0	0	0	0	0
100	0	0	0	0
200	0	0	0	0

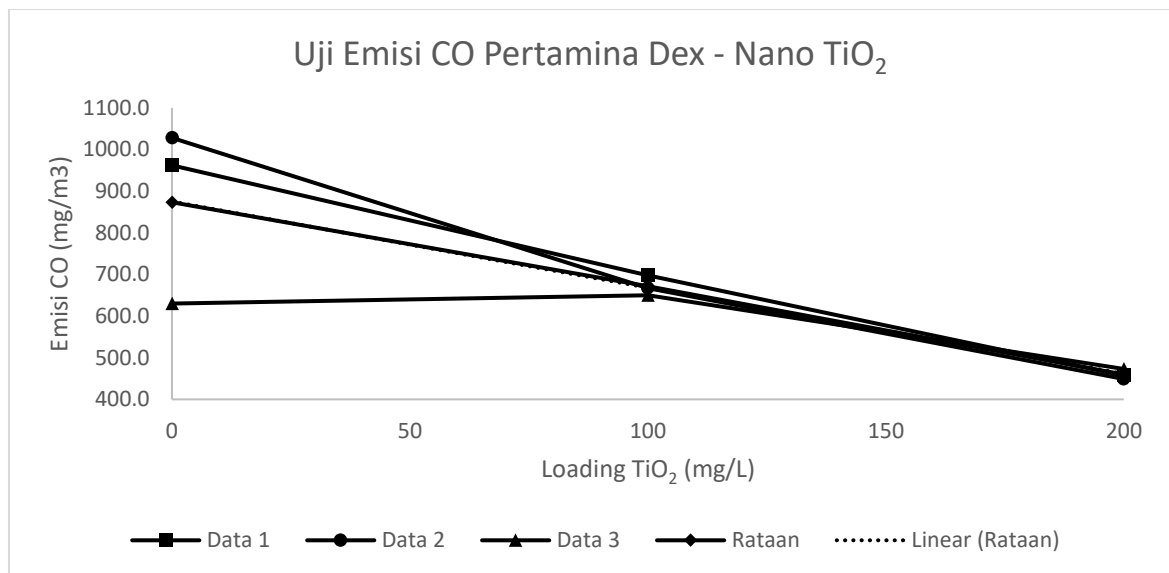
Dari tabel 7 terlihat bahwa tidak ada hasil SO_x terbaca pada perangkat uji. Hal ini menunjukkan bahwa produk bahan bakar Pertamina Dex sudah bebas dari komponen sulfur.

i. Pengujian Emisi CO

Pengujian emisi CO dilakukan dengan perangkat uji emisi yang mampu menangkap partikulat emisi dan melihat besaran dari emisi CO dari tampilan pada alat ukur. Uji emisi CO memakai sampel sejumlah 1 liter. Didapatkan hasil uji emisi CO seperti pada tabel 8 dan gambar 6 di bawah ini.

Tabel 8. Hasil Uji Emisi CO Oleh Pertamina Dex – Nano TiO₂

Loading Nano TiO ₂ (mg/L)	Data 1 (mg/m ³)	Data 2 (mg/m ³)	Data 3 (mg/m ³)	Rataan Emisi CO (mg/m ³)
0	962,0	1028,0	630,0	873,3
100	698,0	667,0	650,0	671,7
200	457,0	449,0	473,0	459,7



Gambar 6. Hasil Uji Emisi CO oleh Pertamina Dex – Nano TiO₂

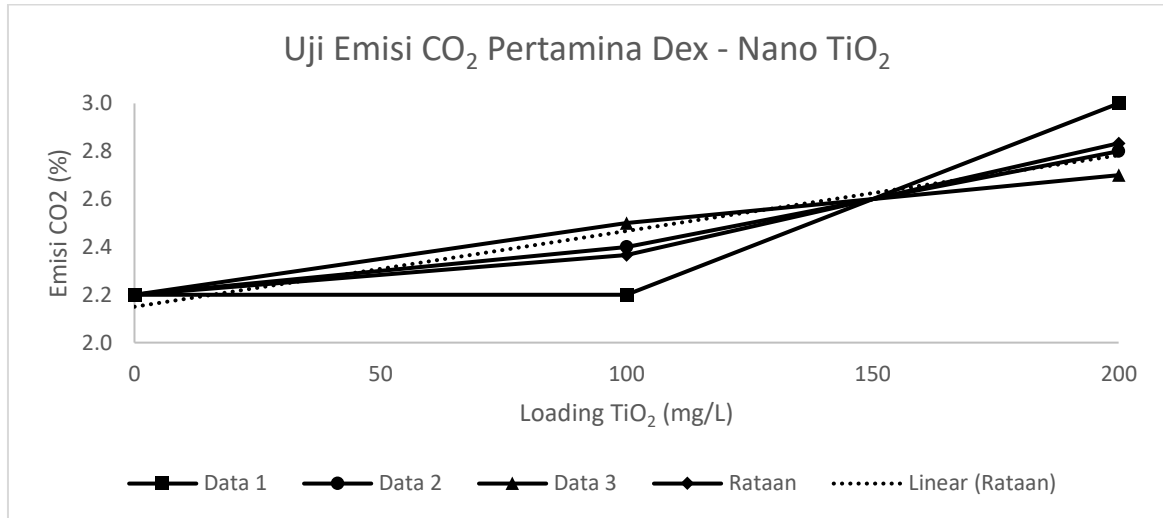
Terlihat dari tabel 8 dan gambar 6 di atas, terjadi pengurangan persentase dari emisi senyawa CO dihubungkan dengan peningkatan loading senyawa nano-TiO₂. Hal itu menunjukkan adanya peningkatan jumlah dari pembakaran sempurna. Pada teorinya, pembakaran sempurna memakai oksigen dengan jumlah lebih banyak dengan hasil pembakaran yaitu gas CO₂, dan sebaliknya pembakaran tidak sempurna memakai oksigen dengan jumlah lebih sedikit dengan hasil pembakaran yaitu gas CO. Peran TiO₂ di sini juga menyumbangkan oksigen proses pembakaran sehingga koefisien stoikiometri untuk mencapai pembakaran sempurna tercapai. Pengujian emisi CO menunjukkan adanya perubahan signifikan dengan pengurangan emisi terbanyak yaitu 47% pada Pertamina Dex yang menggunakan loading TiO₂ yaitu sebesar 200 mg/L.

j. Pengujian Emisi CO₂

Pengujian emisi CO₂ dilakukan dengan perangkat uji emisi yang mampu menangkap partikulat emisi dan melihat besaran dari emisi CO₂ dari tampilan pada alat ukur. Uji emisi CO₂ memakai sampel sejumlah 1 liter. Didapatkan hasil uji emisi CO₂ seperti pada tabel 9 dan gambar 7 di bawah ini.

Tabel 9. Hasil Uji Emisi CO₂ Oleh Pertamina Dex – Nano TiO₂

Loading Nano TiO ₂ (mg/L)	Data 1 (%)	Data 2 (%)	Data 3 (%)	Rataan Emisi CO (%)
0	962,0	1028,0	630,0	873,3
100	698,0	667,0	650,0	671,7
200	457,0	449,0	473,0	459,7



Gambar 7. Hasil Uji Emisi CO₂ Oleh Pertamina Dex – Nano TiO₂

Terlihat dari tabel 9 di atas dan gambar 7 di atas, terjadi peningkatan persentase dari emisi senyawa CO₂ dihubungkan dengan peningkatan loading senyawa nano-TiO₂. Hal itu menunjukkan adanya peningkatan jumlah dari pembakaran sempurna. Pada teorinya, pembakaran sempurna memakai oksigen dengan jumlah lebih banyak dengan hasil pembakaran yaitu gas CO₂, dan sebaliknya pembakaran tidak sempurna memakai oksigen dengan jumlah lebih sedikit dengan hasil pembakaran yaitu gas CO. Peran TiO₂ di sini juga menyumbangkan oksigen proses pembakaran sehingga koefisien stoikiometri untuk mencapai pembakaran sempurna tercapai. Pengujian emisi CO₂ menunjukkan adanya perubahan signifikan dengan peningkatan emisi CO₂ terbanyak yaitu 29% pada Pertamina Dex yang menggunakan loading TiO₂ yaitu sebesar 200 mg/L.

Kesimpulan

Uji sifat – sifat fisik seperti massa jenis, kekentalan serta titik nyala tidak memperlihatkan perbedaan berarti disebabkan loading TiO₂ yang sangat kecil yang selanjutnya memberikan kontribusi fraksi massa yang kecil. Hasil karakterisasi nilai kalor dengan kalorimeter bom menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai kalor pada sampel Pertamina Dex-TiO₂ pada seluruh variasi loading nano-TiO₂. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan BSFC yang berimbang pada penurunan efisiensi bahan bakar diesel. Pengujian emisi hidrokarbon menunjukkan adanya perubahan signifikan yaitu pengurangan emisi terbanyak yaitu 80% pada Pertamina Dex yang menggunakan loading TiO₂ yaitu sebesar 100 mg/L. Hasil uji emisi NO_x menunjukkan penurunan angka kandungan NO_x, hasil terbaik ditunjukkan oleh sampel dengan variasi loading nano-TiO₂ sejumlah 200 mg/L, yaitu sebesar 51%. Hal ini didukung dengan penurunan peak flame temperature pada pembakaran sehingga nilai NO_x juga turun. Hasil uji emisi SO_x menunjukkan tidak adanya kandungan sulfur pada sampel sehingga dapat disimpulkan bahan bakar diesel Pertamina Dex sudah bebas sulfur. Hasil uji emisi CO menunjukkan penurunan angka kandungan CO, hasil terbaik ditunjukkan oleh sampel dengan variasi loading nano-TiO₂ sejumlah 200 mg/L, yaitu sebesar 47% untuk sampel Pertamina Dex-TiO₂. Hal ini didukung dengan meningkatnya laju pembakaran sempurna sehingga nilai CO menurun. Hasil uji emisi CO₂ menunjukkan penurunan angka kandungan CO₂, hasil terbaik ditunjukkan oleh sampel dengan variasi loading nano-TiO₂ sejumlah 200 mg/L, yaitu sebesar 29% untuk sampel Pertamina Dex-TiO₂. Hal ini didukung dengan meningkatnya laju pembakaran sempurna sehingga nilai CO₂ meningkat.

Daftar Notasi

ρ = densitas [g/cm³]
 μ = viskositas [mm²/s]
LFL = flash point [°C]
 x = fraksi massa



Daftar Pustaka

- A. Praveen et al., Performance and emission characteristics of a diesel engine using Calophyllum Inophyllum biodiesel blends with TiO₂ nanoadditives and EGR, Egypt. J. Petrol. 2017.
- D'Silva, Rolvin. Performance and Emission characteristics of a C.I. Engine fuelled with diesel and TiO₂ nanoparticles as fuel additive. *Materials Today*. 2015; 2, 3728 – 3735.
- Dwi Rahmad Setiyono, Dwi Widjanarko. Penggunaan Serbuk TiO₂ dan Karbon Aktif Sebagai Campuran Bahan Catalytic Converter Keramik untuk Mengurangi Polutan Berbahaya pada Kendaraan Bermesin Bensin. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 2008; 13, 165 - 173.
- Jayabalaji, G. Effect of Titanium Dioxide (TiO₂) Nano-Fluid on Performance and Emission Features of a Diesel Engine Operated on Aphanizomenon Flos Biodiesel-Diesel Blend. *Materials Science Forum*. 2019; 969, 421-426.
- Beatrice, A. The Use of Photocatalysis and Titanium Dioxide on Diesel Exhaust Fumes for NO_x Reduction. *Sustainability*. 2018; 10(11), 4031.
- F. Puga, J.A. Navío, C. Jaramillo-Páez, P. Sánchez-Cid, M.C. Hidalgo. Microwave-assisted sol-gel synthesis of TiO₂ in the presence of halogenhydric acids. Characterization and photocatalytic activity, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Volume 394, ISSN 1010-6030. 2020.
- I. M. Mahbulul, Elif Begum Elcioglu, R. Saidur, M.A. Amalina. Optimization of ultrasonication period for better dispersion and stability of TiO₂-water nanofluid, *Ultrasonics Sonochemistry*, ISSN 1350-4177. 2017; Volume 37. Pages 360-367.
- Shan, A. Y., Ghazi, T. I. M., & Rashid, S. A. Immobilisation of titanium dioxide onto supporting materials in heterogeneous photocatalysis: A review. *Applied Catalysis A: General*. 2010; 389(1-2), 1-8.
- Vyas, V. S., Lau, V. W., & Lotsch, B. V. Soft Photocatalysis: Organic Polymers for Solar Fuel Production. *Chemistry of Materials*. 2016; 28(15), 5191-5204.
- Vellaiyan, Suresh. Effect of titanium dioxide nanoparticle as an additive on the exhaust characteristics of dieselwater emulsion fuel blends. *Petroleum Science and Technology* ISSN: 1091-6466. 2019; pp 1532-2459.

