



NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HỖN HỢP NHIÊN LIỆU DIESEL - BIODIESEL TỪ TẢO ĐẾN HIỆU SUẤT VÀ PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL HYUNDAI D4CB BẰNG MÔ PHỎNG

Trần Minh Phúc^{1*}, Nguyễn Duy Tân¹, Nguyễn Văn Năm¹, Nguyễn Thanh Liêm¹

¹Trường Đại học Giao Thông Vận Tải Thành phố Hồ Chí Minh

*Email: phuctm@ut.edu.vn

Ngày nhận bài: 19/12/2025; Ngày phản biện: 24/12/2025; Ngày duyệt bài: 27/01/2026

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu diesel - biodiesel từ tảo vi mô (Microalgae Biodiesel Oil, MBO) đến hiệu suất và phát thải của động cơ diesel Hyundai D4CB. Phương pháp nghiên cứu được thực hiện bằng mô phỏng trên phần mềm Diesel-RK, trong đó động cơ được khảo sát tại các tốc độ quay 1400, 2000, 3000 và 3800 vòng/phút khi sử dụng diesel khoáng (Diesel No.2) và các tỷ lệ phối trộn MBO khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy khi tăng tỷ lệ MBO trong hỗn hợp nhiên liệu, công suất và mô men động cơ có xu hướng tăng; đồng thời phát thải CO₂ và SO₂ giảm đáng kể so với nhiên liệu diesel khoáng. Tuy nhiên, mức tiêu hao nhiên liệu, phát thải NOx và muội than có xu hướng tăng khi sử dụng nhiên liệu có hàm lượng MBO cao. Từ các kết quả đạt được, có thể nhận thấy hỗn hợp nhiên liệu MBO có tiềm năng ứng dụng như một loại nhiên liệu thay thế cho động cơ diesel, góp phần giảm phát thải và đa dạng hóa nguồn nhiên liệu. Tuy nhiên, để sử dụng hoàn toàn biodiesel từ tảo hoặc các tỷ lệ phối trộn cao, cần có các nghiên cứu thực nghiệm và giải pháp cải tiến động cơ nhằm nâng cao hiệu quả và độ tin cậy khi vận hành thực tế.

Từ khóa: , CO₂, Diesel No.2, Diesel-RK, Diesel Tảo, Hiệu suất động cơ, HUYNHDAI D4CB, MBO, NOx, phát thải, PM, SO₂.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effects of diesel-microalgae biodiesel blends (Microalgae Biodiesel Oil, MBO) on the performance and emissions of a Hyundai D4CB diesel engine. The research methodology is based on numerical simulation using the Diesel-RK software, in which the engine is analyzed at engine speeds of 1400, 2000, 3000, and 3800 vòng/phút while operating with conventional diesel fuel (Diesel No.2) and different MBO blending ratios. The simulation results indicate that as the proportion of MBO in the fuel blend increases, engine power and torque tend to increase, while CO₂ and SO₂ emissions are significantly reduced compared to conventional diesel fuel. However, fuel consumption, NOx emissions, and soot formation show an increasing trend when fuels with higher MBO content are used. Based on these results, MBO fuel blends demonstrate potential as an alternative fuel for diesel engines, contributing to emission reduction and diversification of fuel sources. Nevertheless, to enable the use of pure microalgae biodiesel or higher blending ratios, further experimental studies and engine modification solutions are required to improve performance and operational reliability under real operating conditions..

Keywords: CO₂, Diesel No.2, Diesel-RK, Algae-based diesel, Engine efficiency, HUYNHDAI D4CB, MBO, NOx, Emissions, PM, SO₂.



1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, các vấn đề liên quan đến môi trường và năng lượng đang trở thành mối quan tâm toàn cầu. Nguồn nhiên liệu hóa thạch ngày càng suy giảm, trong khi đó lượng phát thải từ động cơ đốt trong - đặc biệt là động cơ diesel - lại góp phần đáng kể vào ô nhiễm không khí, biến đổi khí hậu và ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người. Do đó, việc nghiên cứu và phát triển các loại nhiên liệu thay thế, có nguồn gốc sinh học, thân thiện với môi trường và có khả năng ứng dụng thực tế là một yêu cầu cấp thiết.

Hỗn hợp nhiên liệu MBO (Mixed Bio-Oil), được pha trộn từ diesel sinh học và diesel khoáng theo các tỷ lệ khác nhau, là một trong những giải pháp tiềm năng. Diesel sinh học có nguồn gốc từ thực vật hoặc dầu thải tái chế, không chứa lưu huỳnh, có khả năng phân hủy sinh học và phát thải sạch hơn so với diesel khoáng. Tuy nhiên, khi sử dụng đơn lẻ (B100), diesel sinh học có thể ảnh hưởng đến tính ổn định nhiệt, độ nhớt và quá trình cháy. Do đó, việc pha trộn diesel sinh học với diesel khoáng theo các tỷ lệ hợp lý (từ 5% đến 10%) sẽ giúp tối ưu hóa hiệu quả sử dụng và giảm thiểu nhược điểm của từng loại nhiên liệu.

Đã có một số báo cáo và đánh giá quốc tế về việc ứng dụng diesel sinh học thay thế diesel truyền thống. Báo cáo của Ramón Piloto-Rodríguez và các cộng sự đã phân tích quá trình đốt cháy metyl este của tảo vi mô trong động cơ diesel phun nhiên liệu trực tiếp [1]. Hay bài báo cáo “Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics” của tác giả Ekrem Buyukkaya chỉ ra hiệu quả làm giảm lượng khí thải từ động cơ, các chỉ số CO, và hydrocarbon chưa cháy trong động cơ đốt trong 4 kỳ hiện đại khi pha trộn theo tỷ lệ phần trăm giữa bio diesel và diesel truyền thống [2]. Có một số tạp chí

công bố về tính hiệu quả của bio diesel như tạp chí “Renewable and Sustainable Energy Review” có bài “Effect of biodiesel on engine performances and emissions” chỉ ra tác dụng của biodiesel đối với công suất động cơ, tính kinh tế, độ bền và khí thải bao gồm khí thải được kiểm soát và không được kiểm soát, và các yếu tố tác động tương ứng được khảo sát và phân tích chi tiết. Việc sử dụng biodiesel dẫn đến việc giảm đáng kể lượng khí thải PM, HC và CO đi kèm với tổn thất công suất không đáng kể, mức tiêu thụ nhiên liệu tăng và lượng khí thải NOx tăng trên các động cơ diesel thông thường mà không có hoặc ít sửa khi sử dụng biodiesel [3].

Nguồn diesel sinh học được đề tài lựa chọn được chiết xuất từ tảo, diesel từ tảo là một nguồn nhiên liệu sinh học đầy tiềm năng với ưu điểm tái tạo nhanh, không cạnh tranh với đất nông nghiệp và có khả năng giảm phát thải khí nhà kính. Tuy nhiên, đặc tính vật lý và hóa học của Diesel Tảo khác với diesel hóa thạch, đặc biệt là độ nhớt, nhiệt trị và khả năng bay hơi, dẫn đến sự thay đổi trong quá trình phun và cháy trong buồng đốt động cơ. Do đó đề tài “Nghiên cứu sử dụng hỗn hợp nhiên liệu MBO trong cải thiện hiệu suất và giảm phát thải của động cơ Diesel Hyundai D4CB” tập trung khảo sát ảnh hưởng của các tỷ lệ pha trộn biodiesel (B5 đến B100) đến các thông số công tác của động cơ như công suất, mô-men xoắn, suất tiêu hao nhiên liệu và các chỉ số phát thải. Động cơ D4CB được lựa chọn vì đây là loại động cơ diesel phổ biến, sử dụng nhiều trong các dòng xe tải hạng trung và nhẹ, phù hợp với điều kiện giao thông và vận tải tại Việt Nam.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Động cơ Diesel Hyundai D4CB

Động cơ Diesel D4CB là loại động cơ 4 kỳ, 4 xi-lanh thẳng hàng, được sản xuất bởi hãng Hyundai. Đây là một trong những dòng động cơ Diesel phổ biến, thường được sử dụng trên các phương tiện như xe tải nhẹ,



xe du lịch Hyundai Starex và các mẫu xe thương mại khác nhờ tính ổn định, bền bỉ và hiệu suất cao.

Động cơ D4CB được thiết kế với mục tiêu tối ưu hóa khả năng vận hành bền bỉ, tiết kiệm nhiên liệu và dễ dàng bảo trì sửa chữa, phù hợp với điều kiện khai thác thực tế tại nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam. Bên cạnh đó, động cơ D4CB còn đáp ứng

tốt các tiêu chuẩn về khí thải nhờ quá trình cháy được kiểm soát hiệu quả.

Điều này giúp động cơ vừa đảm bảo hiệu suất làm việc cao, vừa thân thiện hơn với môi trường trong quá trình khai thác. Nhờ vậy, động cơ D4CB được đánh giá cao về độ tin cậy và được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực vận tải và thương mại.

Bảng 1. Bảng thông số động cơ Diesel Hyundai D4CB

STT	Các thông số	Giá trị
1	Mã Động cơ	Hyundai D4CB
2	Số Xylanh	4
3	Đường kính Xylanh (mm)	91.0
4	Hành trình Piston (mm)	96.0
5	Thể tích công tác (cm ³)	2.497 cm ³
6	Tỷ số nén	15.8:1
7	Công suất định mức kW/ Vòng quay (vg/ph)	140 mã lực 103 kW tại 3.800 vòng/phút
8	Moment cực đại (N.m)/Vòng quay (vg/ph)	343 Nm tại 2000 vòng/phút
9	Thứ tự công tác của xylanh	1-3-4-2
10	Khe hở xupap (mm) + Xupap nạp + Xupap xả	0,02-0,05 0,05-0,08
11	Góc phun sớm nhiên liệu trước điểm chết trên (BTDC)	5°
12	Áp suất phun nhiên liệu (MPa)	200
13	Số xéc măng khí	2
14	Số xéc măng dầu	1
15	Chiều dài Thanh Truyền (mm)	60
16	Số vòi phun trên 1 xylanh	1
17	Số lỗ phun trên 1 vòi phun	5
18	Đường kính lỗ phun (mm)	0,1
19	Chiều dài đường nạp (mm)	43,3
20	Đường kính cổ nạp (mm)	7-7,015
21	Số xupap nạp trên 1 xylanh	2
22	Chiều dài đường xả (mm)	39,4
23	Đường kính cổ xả (mm)	7-7,015
24	Số xupap xả trên 1 xylanh	2
25	Xupap Nạp: + Mở sớm: + Đóng muộn	8° 38°



STT	Các thông số	Giá trị
26	Xupap Xả: + Mở sớm: + Đóng muộn	52° 8°
27	Lượng nhiên liệu cấp cho CTCT tại chế độ định mức (g)	
28	Hệ thống làm mát	Tuần hoàn nước
29	Tỉ số nén của tăng áp	2,2

2.2. Nghiên cứu mô phỏng

Trong nghiên cứu này, phần mềm Diesel-RK (Liên bang Nga) được sử dụng để mô phỏng quá trình làm việc của động cơ diesel Hyundai D4CB khi sử dụng nhiên liệu diesel khoáng và các tỷ lệ phối trộn biodiesel từ tảo vi mô (Microalgae Biodiesel Oil - MBO). Diesel-RK là phần mềm chuyên dụng cho mô phỏng chu trình công tác của động cơ diesel, cho phép tính toán các thông số đặc trưng của quá trình phun - cháy, hình thành phát thải và hiệu suất động cơ dựa trên các mô hình nhiệt động và bán thực nghiệm.

Mô hình động cơ trong Diesel-RK được xây dựng dựa trên các thông số hình học, điều kiện làm việc và đặc tính phun nhiên liệu của động cơ D4CB. Các tính toán được thực hiện tại các chế độ tốc độ quay 1400, 2000, 3000 và 3800 vòng/phút nhằm đánh giá

ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn MBO đến các chỉ tiêu hiệu suất (công suất, mô men, suất tiêu hao nhiên liệu) và các thành phần phát thải chính như CO₂, SO₂, NOx và muội than.

Kết quả mô phỏng phản ánh xu hướng biến thiên của các thông số động cơ và phát thải khi thay đổi loại nhiên liệu và tỷ lệ phối trộn. Do nghiên cứu chưa tiến hành kiểm chứng bằng thực nghiệm, các giá trị tuyệt đối thu được chủ yếu mang ý nghĩa so sánh tương đối, làm cơ sở cho việc đánh giá tiềm năng ứng dụng của nhiên liệu MBO và định hướng cho các nghiên cứu thực nghiệm tiếp theo.

2.3. Nhiên liệu

Trong nghiên cứu này, bài báo sử dụng nhiên liệu Diesel No.2, Diesel Tảo và nhiên liệu pha trộn giữa Diesel Tảo và Diesel No.2 lần lượt là B5 và B10.

Bảng 2. Bảng thông số nhiên liệu Diesel No.2, B100, B5, B10 [6]

TÊN		Diesel No.2s	Diesel Tảo B100	B 10	B5
	%C	87	78	86.1	86.55
	%H	12.6	12	12.54	12.57
	%O	0.4	10	1.36	0.88
1	Hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu [%]	0.002	0	0.0018	0.0019
2	Nhiệt trị thấp [Mj/kg]	42.5	40	42.25	42.375
3	Năng lượng hoạt hóa [Kj/mol]	22	22	22	22
4	CN	48	52	48.4	48.2
5	Khối lượng riêng của nhiên liệu tại 323K [kg/m ³]	830	871	834.1	832.05
6	Hệ số sức căng bề mặt của nhiên liệu tại 323 K [N/m]	0.028	0.04	0.0292	0.0286

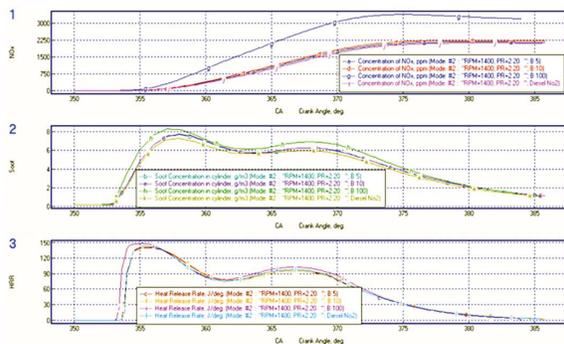


TÊN		Diesel No.2s	Diesel Tảo B100	B 10	B5
7	Độ nhớt động lực học của nhiên liệu tại 323K [Pa s]	0.003	0.0052	0.0032	0.0031
8	Nhiệt hóa hơi riêng [KJ/kg]	250	250	250	250
9	Nhiệt dung riêng của nhiên liệu tại nhiệt độ của vòi phun [J/(kg*K)]	1853	2200	1887.7	1870.4
10	Khối lượng phân tử của nhiên liệu	190	290	200	195
11	Hệ số khuếch tán của hơi nhiên liệu trong không khí ở điều kiện khí quyển[[K]x10 ⁻¹⁰	3.1	5	3.29	3.195
12	Nhiệt độ của nhiên liệu [K]	380	380	380	380
13	Áp suất hơi bão hòa của nhiên liệu ở nhiệt độ thấp T, bar	480 0.0477	480 0.0477	480 0.0477	480 0.0477
14	Áp suất hơi bão hòa tại nhiệt độ tới hạn của nhiên liệu, bar	710 1616	710 1000	710 1554.4	710 1585.2

3. Kết quả mô phỏng và thảo luận

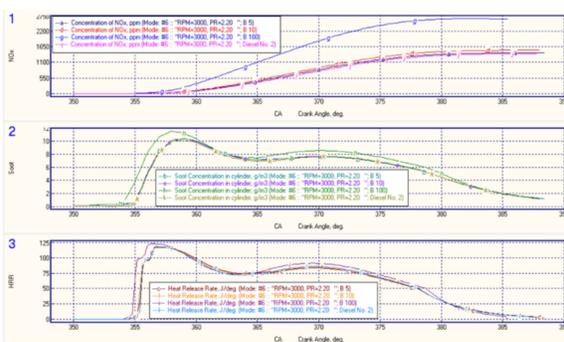
3.1. Biểu đồ phát thải NOx, PM và HRR

3.1.1 Vòng tua máy 1400 vòng/ phút



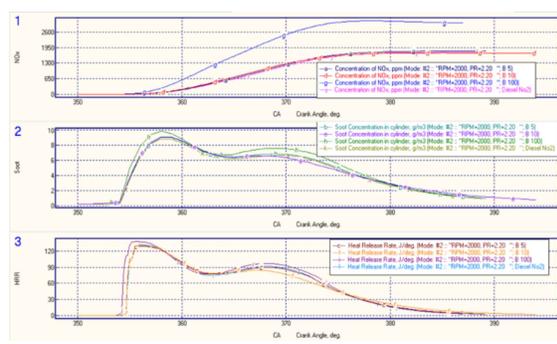
Hình 1. Đồ thị so sánh phát thải NOx, PM và HRR giữa các loại nhiên liệu ở vòng tua máy 1400 vòng/ phút

3.1.3 Vòng tua máy 3000 vòng/ phút



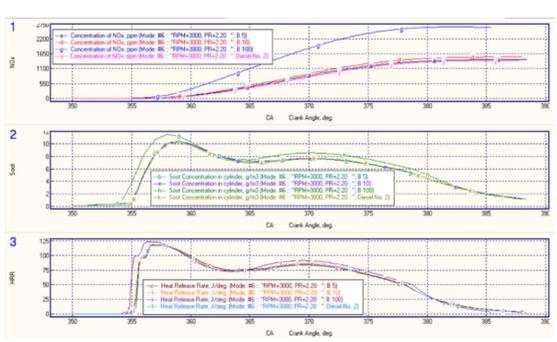
Hình 3. Đồ thị so sánh phát thải NOx, PM và HRR giữa các loại nhiên liệu ở vòng tua máy 3000 vòng/ phút

3.1.2 Vòng tua máy 2000 vòng/ phút



Hình 2. Đồ thị so sánh phát thải NOx, PM và HRR giữa các loại nhiên liệu ở vòng tua máy 2000 vòng/ phút

3.1.4 Vòng tua máy 3800 vòng/ phút



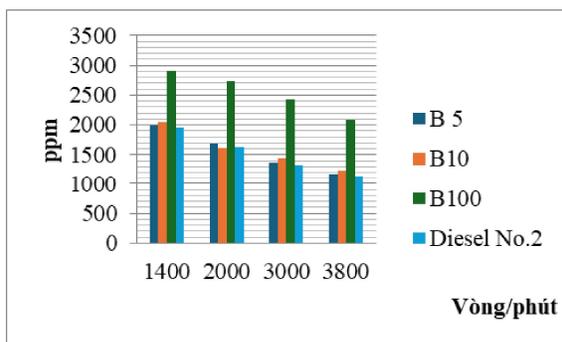
Hình 4. Đồ thị so sánh phát thải NOx, PM và HRR giữa các loại nhiên liệu ở vòng tua máy 3800 vòng/ phút



Theo mô phỏng thì tốc độ tỏa nhiệt HRR tại góc trục khủy 355 độ tăng vọt rất nhanh và đạt cực đại, sau đó giảm dần về cuối quá trình cháy dẫn tới lượng bồ hóng cũng hình thành rất nhanh, tuy nhiên lượng bồ hóng không tăng vọt mà tăng nhanh từ CA 355-360 độ, rồi sau mới giảm dần do quá trình oxy hóa muội than. Còn khí NOx không tăng nhanh mà chỉ tăng dần từ 355- 385 độ.

3.2. So sánh và phân tích các loại khí thải

3.2.1. Biểu đồ NOx (ppm)



Hình 5. Biểu đồ so sánh khí thải NOx giữa các loại nhiên liệu ở các vòng tua máy 1400, 2000, 3000, 3800 vòng/phút

Bảng 3. Bảng so sánh khí thải NOx động cơ (ppm)

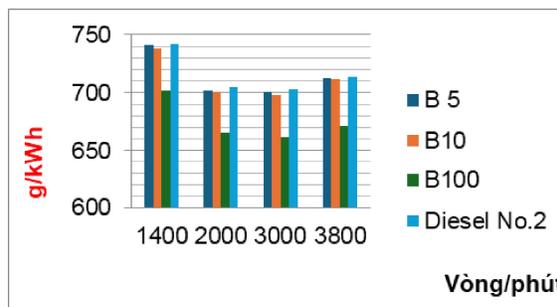
Ne	B 5	B 10	B 100	Diesel No.2
1400	2000	2053.7	2903.2	1955.8
2000	1678	1612.6	2744	1636.1
3000	1354.3	1438.2	2430.2	1320.1
3800	1163.2	1230.4	2095.8	1137.9

Theo mô phỏng ở cả 4 loại nhiên liệu, thì nồng độ NOx đều giảm khi tốc độ động cơ tăng. Nguyên nhân NOx giảm là khi tốc độ tăng, thời gian cháy ngắn hơn làm giảm thời gian tồn tại của vùng nhiệt độ cao từ đó giảm hình thành NOx. Trong đồ thị ta thấy B100 luôn tạo ra NOx cao nhất vì phân tử chứa nhiều ô xy nhất và Diesel No.2 ít tạo ra khí NOx nhất.

Diesel Tảo: Động cơ quay càng nhanh

thì tỉ lệ chênh lệch NOx giữa Diesel Tảo và Diesel No.2 khoảng 48% ở vòng tua máy 1400 vòng/phút, 68% ở 2000 vòng/phút, chênh lệch đến 84% ở vòng tua máy 3000 vòng/phút.

3.2.2. Biểu đồ khí thải (g/kWh)



Hình 6. Biểu đồ so sánh khí thải giữa các loại nhiên liệu ở các vòng tua máy 1400, 2000, 3000, 3800 vòng/phút

Bảng 4. Bảng so sánh thí khái động cơ

Ne	B 5	B 10	B 100	Diesel No.2
1400	740.76	738.14	701.67	741.83
2000	702.27	700.78	665.83	704.7
3000	700.41	698.12	661.44	702.8
3800	712.41	711.18	671.76	713.46

Theo mô phỏng ở cả 4 loại nhiên liệu, thì nồng độ CO₂ đều giảm khi tốc độ động cơ tăng. Cũng do trong Diesel Tảo chứa nhiều ôxy hơn nên khi cháy, các phân tử oxy này tham gia vào quá trình phản ứng, giúp nhiên liệu cháy hoàn thiện hơn, hạn chế hiện tượng dư thừa hydrocarbon chưa cháy hết do đó nồng độ khí CO₂ và HC giảm đi rất nhiều. So với nồng độ khí CO₂ của B 100 thì nồng độ CO₂ của Diesel No.2 là cao nhất và cao hơn Diesel Tảo từ 5-7%. Tỉ lệ pha trộn Diesel Tảo càng cao thì nồng độ CO₂ càng giảm. Tuy nhiên khi vòng tua máy quá 3000 vòng/phút thì lúc này khí CO₂ lại bắt đầu tăng.

Khối lượng sản xuất được 1kg sinh khối tảo khô cần 1,83 kg khí CO₂. [4]



$$\begin{aligned} & \text{Khối lượng sinh khối} \\ &= \frac{\text{khối lượng dầu Tảo}}{0,3} \\ &= \frac{0,23048}{0,3} = 0,768 \text{ kg sinh khối} \end{aligned}$$

Lượng CO₂ hấp thụ = 0,768 x 1,83 = 1,406 kg.

Phát thải của Diesel Tảo thấp hơn Diesel No.2 khoảng 6%, tuy nhiên với tính chất hấp thụ khí để quang hợp của tảo đã tạo ra những lợi thế tối ưu so với nhiên liệu diesel truyền thống và chúng ta có thể tận dụng sự quang hợp của Tảo để:

Giảm phát thải CO₂- Trung hòa carbon (Carbon Neutral): Tảo sử dụng CO₂ trong khí quyển để quang hợp và tạo ra sinh khối nên nguồn carbon trong dầu tảo có nguồn gốc từ không khí, không phải từ nhiên liệu hóa thạch. Khi dầu tảo được đốt cháy, lượng CO₂ phát ra thấp hơn lượng CO₂ mà tảo đã hấp thụ từ đó giúp giảm tổng CO₂ trong khí quyển. Trong khi diesel truyền thống giải phóng CO₂ cô sinh (fossil CO₂) từ lòng đất, làm tăng hiệu ứng nhà kính.

Tận dụng khí CO₂ thải công nghiệp: Tảo có thể được nuôi trực tiếp bằng khí thải CO₂ từ nhà máy nhiệt điện, xi măng hoặc công nghiệp nặng. Như vậy, diesel tảo giúp tái sử dụng CO₂- một dạng xử lý và giảm phát thải khí nhà kính tại nguồn. Diesel truyền thống không có khả năng này.

Nguồn nguyên liệu tái tạo và bền vững: Tảo phát triển nhanh, có thể nuôi trên diện tích không cần đất nông nghiệp, không cạnh tranh với cây lương thực. Dầu tảo là nguồn năng lượng tái tạo (renewable), trong khi dầu mỏ là tài nguyên hữu hạn.

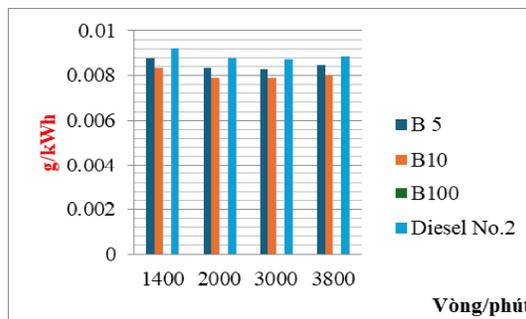
Hiệu suất chuyển đổi CO₂ cao: Tảo có hiệu suất quang hợp cao hơn cây trồng trên cạn từ 5-10 lần, giúp hấp thụ CO₂ hiệu quả hơn. Một số loài tảo có thể hấp thụ đến 2,0 kg CO₂ cho 1 kg sinh khối khô sinh ra.

Cải thiện chất lượng môi trường: Quá trình nuôi tảo giúp làm sạch nước thải (hấp thụ N, P) và giảm ô nhiễm không khí do CO₂. Sản phẩm phụ (bã tảo) có thể dùng làm thức

ăn chăn nuôi, phân bón hoặc vật liệu sinh học.

Nếu chúng ta pha trộn 40% Diesel Tảo vào Diesel truyền thống thì gần như phát thải CO₂ bằng 0.

3.2.3. Biểu đồ thí thải CO₂ (g/kWh)



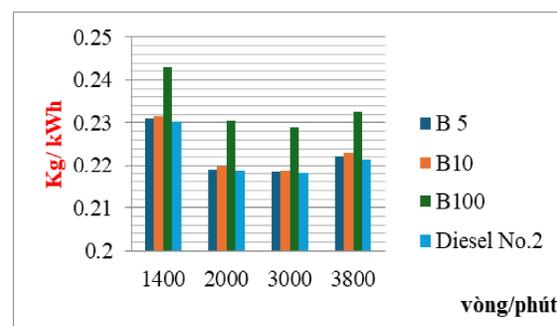
Hình 7. Biểu đồ so sánh khí thải SO₂ giữa các loại nhiên liệu ở các vòng tua máy 1400, 2000, 3000, 3800 vòng/phút

Bảng 5. Bảng so sánh khí thải SO₂ động cơ

Ne	B 5	B10	B100	Diesel No.2
1400	0.00878	0.00833	0	0.00921
2000	0.00833	0.00791	0	0.00875
3000	0.0083	0.00788	0	0.00872
3800	0.00845	0.00803	0	0.00886

Theo mô phỏng dưới đây thì B100 có nồng độ khí thải SO₂ bằng 0, nguyên nhân là do trong nhiên liệu Diesel Tảo không chứa lưu huỳnh, vì vậy quá trình cháy không phát sinh góp phần giảm đáng kể ô nhiễm không khí và mưa axit.

3.2.4. Biểu đồ Soot (g/kWh)



Hình 8. Biểu đồ so sánh muội than giữa các loại nhiên liệu ở các vòng tua máy 1400, 2000, 3000, 3800 vòng/phút



Bảng 6. Bảng so sánh bụi mịn động cơ

Ne	B 5	B10	B100	Diesel No.2
1400	0.21286	0.21241	0.20639	0.14899
2000	0.15895	0.1619	0.15413	0.1159
3000	0.11627	0.11584	0.11196	0.09655
3800	0.11858	0.12693	0.1686	0.15437

Khi tốc độ tăng từ 1400 → 3000 vòng/phút, lượng PM giảm dần, do quá trình cháy diễn ra hoàn thiện hơn ở tốc độ cao hơn, nhiệt độ và áp suất buồng cháy cao hơn giúp giảm muội than. Tuy nhiên, ở 3800 vòng/phút, lượng PM lại tăng trở lại, đặc biệt rõ với B100. Nguyên nhân: ở tốc độ rất cao, thời gian phun và hòa trộn ngắn, gây cháy không hoàn toàn, làm tăng hạt muội.

Ở mọi tốc độ, Diesel No.2 luôn có giá trị PM thấp nhất nên cháy hiệu quả hơn, do có độ nhớt thấp và đặc tính bay hơi tốt hơn biodiesel.

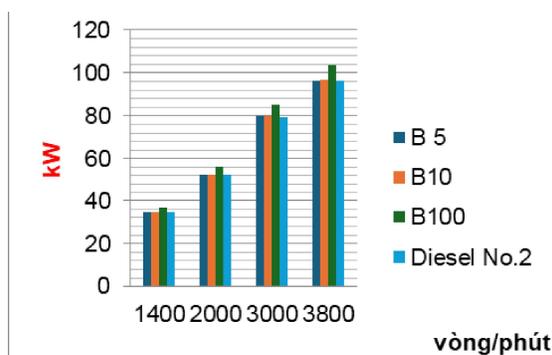
Biodiesel (B5, B10, B100) có xu hướng phát thải PM cao hơn Diesel No.2, nhưng sự khác biệt không lớn ở tốc độ thấp.

Khi tăng tỷ lệ biodiesel:

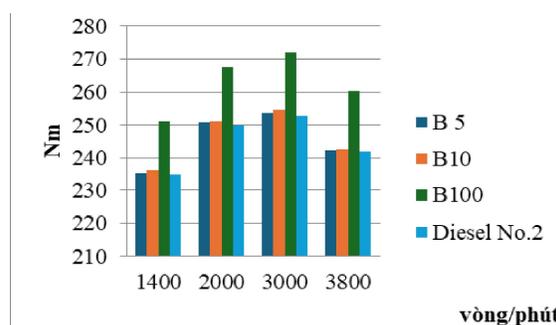
PM giảm nhẹ từ B5 → B100 ở tốc độ thấp (1400 vòng/phút) → do biodiesel có chứa oxy nội tại, giúp cháy sạch hơn.

PM tăng mạnh ở tốc độ cao (3800 vòng/phút) đối với B100, do độ nhớt cao và khả năng phun toi kém → hòa trộn kém, tạo muội nhiều hơn.

3.2.5. Biểu đồ công suất động cơ



Hình 9. Biểu đồ so sánh công suất động cơ giữa các loại nhiên liệu ở các vòng tua máy 1400, 2000, 3000, 3800 vòng/phút



Hình 10. Biểu đồ so sánh momen xoắn động cơ giữa các loại nhiên liệu ở các vòng tua máy 1400, 2000, 3000, 3800 vòng/phút

Bảng 7. Bảng so sánh công suất động cơ

Ne	B 5	B10	B100	Diesel No.2
1400	34.481	34.63	36.833	34.417
2000	52.509	52.605	56.058	52.304
3000	79.659	79.948	85.421	79.364
3800	96.368	96.587	103.55	96.26

Bảng 8. Bảng so sánh momen động cơ

Ne	B 5	B10	B100	Diesel No.2
1400	235.21	236.23	251.25	234.77
2000	250.73	251.19	267.68	249.75
3000	253.58	254.5	271.92	252.64
3800	242.19	242.74	260.24	241.92

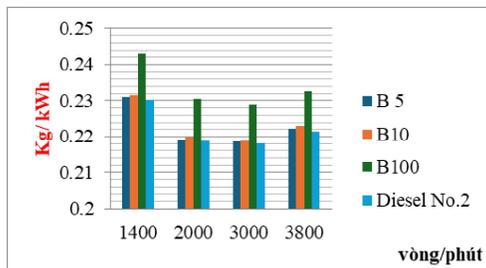
Diesel No.2: Mô-men cực đại đạt 255 N.m, công suất gần chuẩn thiết kế.

Diesel Tảo: Momen cực đại đạt khoảng 270 N.m (tăng ~6%), công suất tăng khoảng 7%.

Các tỉ lệ pha trộn giữa Diesel No.2 với Diesel Tảo từ B5, B10: Tỉ lệ pha trộn Diesel Tảo càng cao thì momen và công suất đều tăng.

Theo mô phỏng thì công suất của Diesel No.2 đạt 96,26 kW, xấp xỉ bằng với công suất của bên thiết kế là 103 kW ở vòng tua máy 3800 vòng/phút. Tuy nhiên nhiên liệu Diesel Tảo thì lại đạt công suất của thiết kế.

3.2.6. Mức tiêu hao nhiên liệu của động cơ SFC



Hình 11. Biểu đồ so sánh mức tiêu hao nhiên liệu động cơ giữa các loại nhiên liệu ở các vòng tua máy 1400, 2000, 3000, 3800 vòng/phút

Bảng 9. Bảng so sánh mức tiêu hao động cơ

Nc	B 5	B10	B100	Diesel No.2
1400	0.23109	0.23147	0.24289	0.23022
2000	0.21908	0.21976	0.23048	0.2187
3000	0.2185	0.21892	0.22896	0.21811
3800	0.22224	0.22302	0.23253	0.22142

Khi tốc độ tăng từ 1400 → 3000 vòng/phút, mức tiêu hao nhiên liệu giảm nhẹ, do động cơ hoạt động gần vùng hiệu suất tối ưu. Ở 3800 vòng/ phút, mức tiêu hao tăng trở lại cho tất cả nhiên liệu vì ma sát, tổn thất bơm, và hiệu suất cháy giảm ở tốc độ cao.

Diesel No.2 luôn có mức tiêu hao thấp nhất ở mọi tốc độ và điều này phù hợp vì diesel truyền thống có giá trị nhiệt cao hơn (năng lượng riêng lớn hơn), nên cần ít nhiên liệu hơn để sinh cùng một công suất.

B5 và B10 chỉ cao hơn Diesel No.2 rất ít (chênh lệch 0.3-0.7%) → cho thấy pha loãng biodiesel tỷ lệ thấp không ảnh hưởng nhiều đến hiệu quả tiêu hao nhiên liệu.

B100 có mức tiêu hao cao nhất (cao hơn khoảng 4-6%) → vì biodiesel có: Giá trị nhiệt thấp hơn (ít năng lượng hơn mỗi kg nhiên liệu). Độ nhớt cao hơn, làm giảm khả năng phun tơi và hòa trộn, nên hiệu suất cháy giảm nhẹ.

3.2.7. Tính kinh tế - kỹ thuật - an toàn của nhiên liệu Diesel Tảo

Kinh tế: Chi phí sản xuất diesel từ tảo (algae diesel) hiện nay còn khá cao so với diesel hóa thạch, do nhiều yếu tố đầu vào

và công nghệ. Giá thành nhiên liệu của Diesel Tảo gấp 1,5-2,5 lần diesel truyền thống. Đây là một trong những trở ngại lớn nhất của các doanh nghiệp khi sử dụng loại nhiên liệu Diesel Tảo. Tuy nhiên dự kiến đến năm 2030 bằng cách áp dụng khoa học kỹ thuật hiện đại và phát triển chủng loại Tảo Nannochloropsis tăng khả năng sinh khối lên tới 60% thì giá thành sản xuất 3 USD/ 1 Gallon diesel Tảo. [5]

Kỹ thuật: Diesel tảo có tiềm năng cao nhờ tính cháy sạch, an toàn và thân thiện môi trường. Tuy nhiên nhược điểm kỹ thuật chính là độ nhớt cao, nhiệt trị thấp nên khó khởi động lạnh. Sử dụng pha trộn B5-B10 là tối ưu để đảm bảo tương thích động cơ hiện có mà không cần cải tiến hoặc chúng ta sử dụng phụ gia hạ điểm đông đặc hoặc gia nhiệt nhiên liệu ở vùng lạnh

An toàn: Nhiên liệu Diesel Tảo và hỗn hợp pha trộn có điểm chớp cháy cao hơn gấp 2-3 lần Diesel truyền thống nên ít nguy cơ cháy nổ trong vận hành và lưu kho. Nhiên liệu Diesel Tảo và hỗn hợp pha trộn có độ tinh thấp hơn rõ rệt và thân thiện với môi trường hơn Diesel truyền thống. Tuy nhiên do Nhiên liệu Diesel Tảo và hỗn hợp pha trộn có nguồn gốc từ thực vật nên phải bảo quản trong môi trường kín, sơn chống oxy hóa và tránh ánh nắng. Ngoài ra chúng ta phải thường xuyên kiểm tra lọc nhiên liệu và hệ thống phun trong khoảng thời gian đầu làm việc và không để nhiên liệu quá 3 tháng nếu không có chất phụ gia ổn định oxy hóa.

4. Kết luận và kiến nghị

4.1. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy biodiesel từ tảo có tiềm năng trở thành một lựa chọn nhiên liệu sinh học thay thế một phần diesel truyền thống cho các động cơ diesel hiện nay. Nhờ chỉ số cetane tương đối cao và hàm lượng oxy nội tại trong cấu trúc phân tử, biodiesel từ tảo có thể hỗ trợ quá trình cháy diễn ra ổn định và có xu hướng hoàn thiện hơn, qua đó giúp động cơ duy trì khả năng làm việc khi sử dụng nhiên liệu B100 hoặc các hỗn



hợp B20-B50. Mặc dù nhiệt trị của biodiesel thường thấp hơn diesel khoáng, các chỉ tiêu như công suất và áp suất trung bình hữu hiệu (BMEP) có thể được duy trì, và trong một số chế độ vận hành quan sát thấy xu hướng cải thiện (theo kết quả mô phỏng/đánh giá trong nghiên cứu).

Về môi trường, kết quả phân tích cho thấy việc sử dụng biodiesel từ tảo có xu hướng làm giảm các phát thải CO₂, CO và HC; đồng thời phát thải SO_x giảm mạnh do nhiên liệu hầu như không chứa lưu huỳnh. Nguồn nguyên liệu vi tảo có lợi thế là không cạnh tranh trực tiếp với đất nông nghiệp và có khả năng hấp thụ CO₂ trong quá trình sinh trưởng; tuy nhiên, để đưa ra các nhận định định lượng về đóng góp đối với “trung hòa carbon” cần có bổ sung dữ liệu phân tích vòng đời (LCA) và số liệu thực nghiệm/đo đạc đáng tin cậy. Xét đến chi phí sản xuất hiện nay và một số hạn chế về tính chất nhiên liệu, trong giai đoạn trước mắt, việc sử dụng hỗn hợp biodiesel từ tảo - diesel ở tỷ lệ B10-B20 được xem là phương án khả thi, có thể cân bằng giữa hiệu suất, phát thải và yêu cầu can thiệp kỹ thuật đối với động cơ ở mức tối thiểu.

4.2. Kiến nghị

Về kinh tế: Hiện tại, chi phí sản xuất biodiesel từ tảo còn cao hơn diesel hóa thạch (ước tính khoảng 1,5-2,5 lần theo các báo cáo/công bố liên quan). Trong tương lai, sự cải tiến công nghệ nuôi cấy vi tảo và tối ưu hóa quy trình thu dầu - chuyển hóa, cùng với việc phát triển các chủng có năng suất cao như *Nannochloropsis*, có thể góp phần giảm giá thành, tạo điều kiện thuận lợi hơn cho thương mại hóa.

Về kỹ thuật: Đối với động cơ hiện có, nên ưu tiên các tỷ lệ phối trộn thấp đến trung bình như B5-B10 hoặc B10-B20 nhằm duy trì khả năng khởi động và vận hành ổn định. Đồng thời, cần xem xét nghiên cứu bổ sung phụ gia cải thiện tính lưu động và/hoặc giải pháp gia nhiệt nhiên liệu trong điều kiện nhiệt độ thấp để giảm rủi ro về độ nhớt và

phun sương.

Về an toàn và bảo quản: Biodiesel từ tảo có điểm chớp cháy cao và độc tính thấp; tuy nhiên, nên lưu trữ trong điều kiện kín, hạn chế tiếp xúc oxy và ánh sáng nhằm giảm oxy hóa, đồng thời theo dõi tình trạng lọc nhiên liệu trong giai đoạn đầu sử dụng để hạn chế hiện tượng tắc lọc do cặn bẩn.

Định hướng nghiên cứu tiếp theo: Cần tập trung hiệu chỉnh các tham số phun trong mô phỏng Diesel-RK, đồng thời kết hợp với thử nghiệm thực tế trên động cơ Hyundai D4CB để đối chứng và nâng cao độ tin cậy của kết quả. Ngoài ra, có thể mở rộng nghiên cứu theo hướng tích hợp biodiesel từ tảo với các hệ truyền động hybrid, hệ thống phát điện và ứng dụng hàng hải nhằm tối ưu hiệu suất và giảm phát thải trong các điều kiện vận hành khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Islam, M. A. (2017, March). *Assessment of diesel engine performance when fueled with biodiesel from algae and microalgae*.
- Buyukkaya, E. (2010, October). *Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics*.
- Anonymous. (2011, February). *Effect of biodiesel on engine performances and emissions. International Journal of Automotive Technology, 15(2), 1098-1116*.
- Owende, P., & Brennan, L. (2010). *Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(2), 557-577*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.009>
- Vietnam News. (2025, August). *Report on microalgae-based biofuel production released*. <https://vietnamnews.vn/environment/1722884/report-on-microalgae-based-biofuel-production-released.html>
- Kesharvani, S., Dwivedi, G., Verma, T. N., & Verma, P. (2023). *The experimental investigation of a diesel engine using ternary blends of algae biodiesel, ethanol and diesel fuels. Energies, 16(1), 229*. <https://doi.org/10.3390/en16010229>

