G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan
Volume 7, No. 3, Juli 2023, hal. 1315-1326
E-ISSN: 2623-064x | P-ISSN: 2580-8737

Kinerja Motor *Scooter Matic* Injeksi 113,7 cc Menggunakan Bahan Bakar Campuran *Pertalite* dan Minyak Pirolisis Limbah Plastik HDPE

Danang Yugo Pratomo[1]✉, Feddy Wanditya Setiawan[2], Muhammad Arsad Al Banjari[3]

[1, 2, 3] Program Studi Teknik Otomotif, Politeknik Hasnur, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 22-07-2023
Direvisi : 27-07-2023
Diterima : 29-07-2023

ABSTRAK

Keberadaan limbah plastik telah menjadi masalah lingkungan yang mendesak. Dengan menguraikan limbah plastik melalui proses pirolisis, dapat menciptakan inovasi baru seperti minyak pirolisis. Minyak pirolisis dipadukan dengan bahan bakar fosil dapat menjadi alternatif untuk penguraian limbah plastik dan pengurangan emisi gas. Tujuan penelitian ini adalah menguji pengaruh penggunaan minyak pirolisis (PO) dari limbah plastik HDPE dan pertalite pada torsi, daya, konsumsi bahan bakar dan hasil emisi gas buang motor matic 113,7cc. Metode yang digunakan adalah eksperimen *mixing* variasi volume bahan bakar pertalite dengan minyak pirolisis HDPE, selanjutnya dilakukan pengujian daya dan torsi, konsumsi bahan bakar, serta emisi hasil gas buang. Hasil pengujian menunjukkan campuran pertalite 90% dan minyak HDPE 10% menjadi komposisi campuran terbaik dengan nilai torsi tertinggi 16,35 N.m – 2279 rpm pada daya 7,6 HP – 5805 rpm, konsumsi bahan bakar terhemat dengan nilai 20 ml/2 menit, dan hasil emisi paling ramah dengan nilai HC 52 ppm, dan CO 0,25%.

Kata Kunci:

Limbah Plastik HDPE,
Minyak pirolisis,
Campuran bahan bakar,
Kinerja motor.

ABSTRACT

The existence of plastic waste has become a pressing environmental problem. By decomposing plastic waste through a pyrolysis process, new innovations such as pyrolysis oil can be created. Pyrolysis oil combined with fossil fuels can be an alternative for decomposing plastic waste and reducing gas emissions. The purpose of this study was to examine the effect of using pyrolysis oil (PO) from HDPE and pertalite plastic waste on torque, power, fuel consumption and exhaust emissions of 113.7cc automatic motorbikes. The method used is experimental mixing pertalite fuel volume variations with HDPE pyrolysis oil, then testing power and torque, fuel consumption, and exhaust emissions. The test results showed a mixture of 90% pertalite and 10% HDPE oil to be the best mixture composition with the highest torque value of 16.35 N.m – 2279 rpm at a power of 7.6 HP – 5805 rpm, the lowest fuel consumption with a value of 20 ml/2 minutes, and the most friendly emission results with 52 ppm HC value, and 0.25% CO.

***Keywords*:**

HDPE plastic waste,
Pyrolysis oil, Fuel mixture,
Motorcycle performance.

***Corresponding Author* :**
Danang Yugo Pratomo
Program Studi Teknik Otomotif, Politeknik Hasnur
Jl. Brigjen H. Hasan Basri Ray V, Handil Bakti, Alalak, Barito Kuala, Kalimantan Selatan, Indonesia
Email: d.yugo.pr@gmail.com

PENDAHULUAN

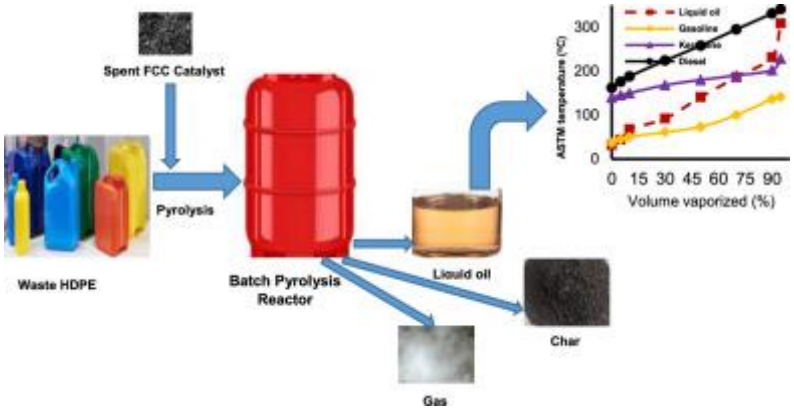
World population review, dalam laporannya tahun 2022, merilis 20 negara penghasil limbah terbanyak di dunia. Negara-negara di Asia Tenggara mendominasi peringkat tersebut, dan Indonesia menempati peringkat kelima (Alfiah & Yustiani, 2021). Salah satu masalah lingkungan

This is an open access article under the CC BY license

utama yang dihadapi oleh dunia, termasuk Indonesia, adalah limbah plastik. Limbah plastik telah mencemari tanah, sungai, dan laut. Sifat plastik yang sulit terurai secara alami menyebabkan proses pembusukannya membutuhkan ratusan tahun. Pengelolaan limbah plastik yang diyakini efektif, selain upaya mengurangi penggunaannya, adalah dengan mendaur ulang limbah plastik. Di banyak negara, daur ulang limbah plastik telah mengarah pada ekonomi sirkular. Sistem sirkular ini memungkinkan limbah plastik diolah menjadi produk baru (Murti et al., 2022). Diantara penyelesaian masalah ini yaitu memproses limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif dengan proses pirolisis.

Pirolisis adalah proses degradasi termal molekul polimer berantai panjang menjadi molekul yang lebih kecil dan kurang kompleks melalui panas. Proses ini membutuhkan panas yang intens dengan durasi singkat dan tanpa adanya oksigen. Tiga produk utama yang dihasilkan selama pirolisis adalah minyak, gas, dan arang yang memiliki nilai tambah bagi industri terutama produksi dan pengolahan. Pirolisis dipilih oleh banyak peneliti karena proses ini mampu menghasilkan jumlah minyak cair yang tinggi hingga 80% berat pada suhu moderat sekitar 500ºC (Fakhrhoseini & Dastanian, 2013). Minyak yang dihasilkan melalui proses pirolisis dikatakan memiliki nilai kalor yang tinggi dan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif (Sharuddin et al., 2018).

Hasil investigasi pengaruh suhu dalam rentang 450-525 °C terhadap hasil pirolisis campuran limbah plastik, yang terdiri dari 45% polipropilena, 35% polietilena berdensitas rendah, dan 25% polietilena berdensitas tinggi. Selain itu, makalah ini juga menyajikan hasil investigasi pengaruh waktu reaksi dalam interval 30-90 menit terhadap hasil pirolisis campuran limbah plastik yang disebutkan sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada suhu 500 °C, konversi total bahan baku tercapai dalam waktu 45 menit, dengan hasil maksimum minyak pirolisis sebesar 32,80%, hasil produk gas sebesar 65,75%, dan sisa padat sebesar 1,46%. Peningkatan suhu lebih lanjut meningkatkan hasil produk gas dengan mengurangi hasil minyak pirolisis. Minyak pirolisis yang dihasilkan memiliki nilai kalor yang tinggi, yaitu 45,96 MJ/kg, dan dalam hal ini memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif (Papuga et al., 2016).



Gambar 1. Termal Pirolisis pada Limbah Plastik HDPE (Sumber: Aisien & Aisien, 2023).

Suhu pirolisis 500°C dan rasio katalis terhadap plastik 0,2 adalah kondisi operasi yang ideal. Luas permukaan BET, volume pori, dan ukuran pori rata-rata katalis FCC yang terpakai masing-masing adalah 0,103 cm2/g, 7,02 nm, dan 63,24 m2/g. Limbah plastik HDPE secara termal dipirolisis, menghasilkan 73,9% berat minyak cair, 23,1% berat gas, dan 3% berat arang sebagai produk akhir dilihat pada gambar 1. Selain itu, pirolisis katalitik menghasilkan rendemen minyak cair yang lebih tinggi (88,8% berat) namun gas yang lebih sedikit (9,9% berat) dan arang (1,3% berat). Viskositas kinematik, densitas, titik nyala, titik tuang, dan nilai kalor minyak cair yang dihasilkan oleh pirolisis katalitik adalah 2,48 cSt, 0,85 g/cm3, 34,5 °C, -6 °C, dan 41,6 MJ/kg, masing-masing. Berdasarkan data GC-MS, komposisi kimia minyak cair tersebut mengandung 38 hidrokarbon antara C6 dan C24. Oleh karena itu, minyak cair yang terbuat dari

limbah HDPE memiliki karakteristik yang mirip dengan bahan bakar konvensional dan dapat digunakan sebagai alternatif sumber energi terbarukan (Aisien & Aisien, 2023).

Kajian penelitian terhadap polipropilena (PP), PP didaur ulang dalam reaktor *batch non-stirred* melalui pirolisis lambat pada suhu rendah. PP murni dan PP limbah serta campuran bahan baku yang terdiri dari jumlah yang sama antara PP murni dan minyak pirolisis PP murni (rasio 1:1 w/w) digunakan sebagai bahan baku. Hasil produk cair tertinggi diperoleh pada suhu 350°C dan 400°C (masing-masing 82,0% dan 82,3% berdasarkan berat). Densitas, viskositas, dan nilai kalor bahan bakar pada fraksi bensin dan diesel dari minyak pirolisis yang diperoleh sesuai dengan standar EN228 dan EN590. Angka oktan penelitian (RON) yang dihitung dari analisis NMR sesuai dengan batas bawah bensin (Uebe et al., 2022).

Penelitian pengolahan termal (torrefaksi, pirolisis, dan gasifikasi) menjadi suatu inovasi metode dan teknologi yang diharapkan dapat memberikan penggunaan limbah plastik yang ramah lingkungan. Dikarenakan nilai kalor yang relatif tinggi, minyak ini dapat dianggap sebagai bahan bakar potensial untuk mesin pembakaran dalam dengan percikan pengapian. Untuk membuat proses pembakaran efektif, minyak pirolisis dicampur dengan etanol, yang umumnya digunakan sebagai bahan bakar untuk mobil dengan tipe bahan bakar fleksibel. Hasil dari pengujian pembakaran yang dilakukan pada mesin satu silinder dengan beban penuh pada kecepatan 600 rpm, rasio kompresi 9,5:1, dan rasio ekuivalensi 1. Analisis menunjukkan peningkatan dalam pembakaran dan kinerja mesin. Ditemukan bahwa, nilai kalor campuran yang lebih tinggi, mesin memiliki tekanan efektif rata-rata yang lebih tinggi pula. Waktu percikan pengapian optimal pada campuran etanol-minyak pirolisis ditingkatkan pada sudut kruk 2-3° pada 600 rpm. Kesimpulannya, campuran etanol-minyak pirolisis pada rasio volumetrik 3:1 (25% minyak pirolisis) berhasil menggantikan etanol dalam mesin pembakaran dalam (Szwaja et al., 2021)

Hasil penelitian eksperimental terdahulu mengenai penggunaan minyak plastik limbah yang dihasilkan dari botol polietilena tereftalat (PET) sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel. Sifat-sifat fisik dan kimia dari minyak plastik limbah tersebut dianalisis, dan ditemukan bahwa minyak tersebut memiliki sifat bahan bakar yang mirip dengan bahan bakar minyak bumi. Minyak plastik limbah ini diuji pada mesin diesel untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap pembakaran dan karakteristik emisi. Selain itu, emisi partikel (PM) yang dihasilkan dari pembakaran minyak plastik limbah juga dianalisis. Pembakaran minyak plastik limbah ini lebih lambat dibandingkan dengan bahan bakar diesel, sehingga menghasilkan emisi berbasis karbon yang lebih tinggi. Hasil analisis termogravimetri (TGA) menunjukkan bahwa suhu untuk mencapai laju oksidasi jelaga maksimum lebih rendah pada pembakaran minyak plastik limbah. Karena adanya penundaan yang signifikan pada awal pembakaran dan peningkatan emisi, penggunaan langsung minyak plastik limbah pada mesin diesel tidak disarankan. Disarankan agar minyak plastik limbah dapat digunakan sebagai komponen campuran untuk mengurangi jumlah bahan bakar diesel yang digunakan pada mesin diesel. Oleh karena itu, dilakukan studi lanjutan mengenai pengaruh campuran bahan bakar diesel dengan minyak plastik limbah terhadap pembakaran dan karakteristik emisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah maksimum minyak plastik limbah yang terdapat dalam bahan bakar diesel agar tidak terjadi peningkatan emisi berbasis karbon adalah 20% berdasarkan volume untuk menjaga karakteristik pembakaran dan emisi yang serupa dengan bahan bakar diesel (Maithomklang et al., 2022)

Penelitian tentang variasi jenis bahan bakar dilakukan pada Toyota Avanza K3-VE 1.298 cc dengan metode eksperimental yang bertujuan untuk menentukan kinerja mesin bensin dengan sistem injeksi bahan bakar elektronik menggunakan beberapa jenis bahan bakar. Untuk mengetahui kinerja mesin yang optimal, pengujian dilakukan pada kecepatan maksimum mesin menggunakan alat uji *dynamometer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar yang tepat digunakan pada mesin bensin dengan sistem injeksi bahan bakar elektronik adalah jenis Pertamax karena menghasilkan kinerja mesin yang optimal, dengan torsi maksimum sebesar 176,23 Nm dan daya maksimum sebesar 105,83 kW (Arif et al., 2020)

Dharmanasa et al., 2021 memperoleh hasil pengujian bahwa daya poros efektif yang dihasilkan berbanding lurus dengan laju aliran bahan bakar. Artinya, semakin tinggi laju aliran

bahan bakar, semakin besar pula daya poros efektif yang dihasilkan. Dalam hal ini, Pertamax memiliki daya poros efektif yang lebih besar dibandingkan Pertalite. Meskipun Pertamax memiliki daya poros efektif yang lebih besar, Pertalite memiliki nilai konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih tinggi. Artinya, Pertalite cenderung lebih boros dalam penggunaan bahan bakar dibandingkan Pertamax. Ini mungkin disebabkan oleh perbedaan komposisi bahan bakar dan sifat-sifat pembakarannya. Pertalite memiliki nilai konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih tinggi dibandingkan Pertamax. Konsumsi bahan bakar spesifik mengukur jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya tertentu. Semakin rendah nilai konsumsi bahan bakar spesifik, semakin efisien penggunaan bahan bakar. Pertamax memiliki nilai efisiensi *thermal* rata-rata sebesar 55%, sedangkan Pertalite memiliki nilai efisiensi *thermal* rata-rata sebesar 54%. Efisiensi *thermal* mengukur seberapa efisien mesin dalam mengubah panas yang dihasilkan dari pembakaran menjadi kerja mekanik. Semakin tinggi efisiensi *thermal*, semakin efisien mesin tersebut dalam memanfaatkan energi dari bahan bakar.

Suatu pengujian emisi gas buang dilakukan menggunakan alat dan bahan seperti gas analyzer, sepeda motor matic 110cc, *turbo cyclone*, dan bahan bakar pertamax. Pengumpulan data uji emisi meliputi nilai kadar senyawa CO (karbon monoksida), CO2 (karbon dioksida), dan HC (hidrokarbon). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan emisi CO tanpa menggunakan *turbo cyclone* adalah 0,51%, sedangkan setelah menggunakan *turbo cyclone*, mengalami penurunan menjadi 0,44%. Kandungan emisi CO2 sebelum menggunakan *turbo cyclone* adalah 14,10%, dan ketika menggunakan *turbo cyclone*, tetap pada nilai yang sama yaitu 14,10%. Hasil kadar HC sebelum dan setelah menggunakan *turbo cyclone* adalah masing-masing 129 ppm dan 109 ppm (Amir et al., 2021).

Proses pirolisis akan menghasilkan minyak dengan viskositas tinggi, sehingga memerlukan penambahan bahan bakar pelarut untuk mengurangi viskositasnya. Penelitian ini menggunakan pertalite dengan RON 90 sebagai bahan bakar pencampur dengan minyak pirolisis dari limbah plastik HDPE. Setelah bahan bakar dicampur dengan persentase volume yang telah ditentukan, dilakukan pengujian untuk menentukan nilai daya dan torsi yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar dengan variasi persentase campuran bahan bakar, serta pengujian emisi gas buang.

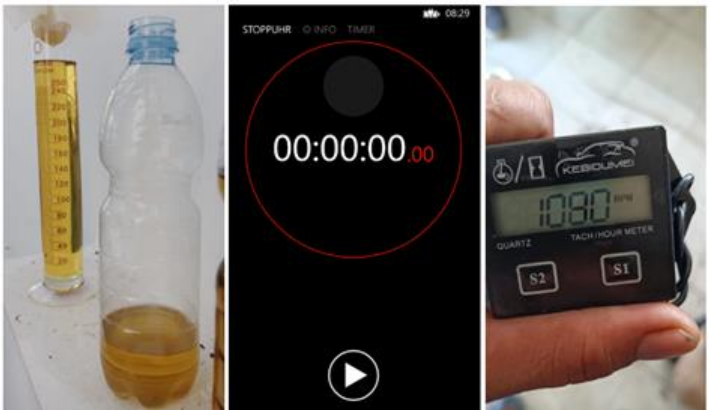
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental variasi campuran bahan bakar. Minyak pirolisis dari limbah plastik HDPE sebagai campuran bahan bakar yang akan dicampur dengan pertalite. Pembuatan minyak pirolisis dari limbah plastik HDPE dilakukan di laboratorium konversi Politeknik Hasnur yang beralamat di Jalan Brigjen H. Hasan Basri, Barito Kuala, Indonesia. Limbah plastik HDPE diproses menggunakan teknik pirolisis untuk menghasilkan minyak pirolisis. Penentuan persentase volume campuran antara pertalite dengan minyak pirolisis HDPE dalam penelitian ini secara berturut-turut adalah 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, dan 50:50 dengan volume campuran 100 mililiter. Campuran tersebut akan digunakan sebagai bahan bakar dalam beberapa pengujian.

Pengujian karakteristik motor menggunakan motor bensin merk Yamaha Mio Soul GT jenis skuter matic injeksi 113,7 cc kondisi standar, dengan pengujian karakteristik seperti daya, torsi, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang. Untuk mendapatkan nilai torsi dan daya, dilakukan pengujian menggunakan *dynotest/dynamometer.* Terdapat dua jenis *dynotest*, yaitu *engine dyno* yang digunakan untuk mengukur daya dan torsi yang dihasilkan langsung oleh mesin tanpa beban total kendaraan, dan berikutnya ada tipe *chassis dyno* yang digunakan dalam penelitian itu, yaitu *dynotest* untuk mengukur performa kendaraan dan bebannya pada simulasi jalan. *Dyno* ini mengukur daya dan torsi yang dihasilkan oleh roda kendaraan. Pada porsesnya, kendaraan ditempatkan di atas *rolller* yang berputar, dan roda kendaraan berputar pada *rolller* tersebut untuk mensimulasikan kondisi berkendara di jalan.

Gambar 2. *Dynamometer* Jenis *Chassis Dyno, Tipe Motorcycle-Dyno Leads LSP-1 DAQ*

Pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan dengan metode uji *running test* dengan kontrol putaran mesin 1200 rpm dan durasi waktu selama 2 menit terhadap variasi persentase campuran-campuran bahan bakar. Alat dan bahan disiapkan seperti gelas ukur, *digital tachometer* untuk pengukuran putaran mesin, *stopwatch*, kendaraan, dan bahan bakar campuran.

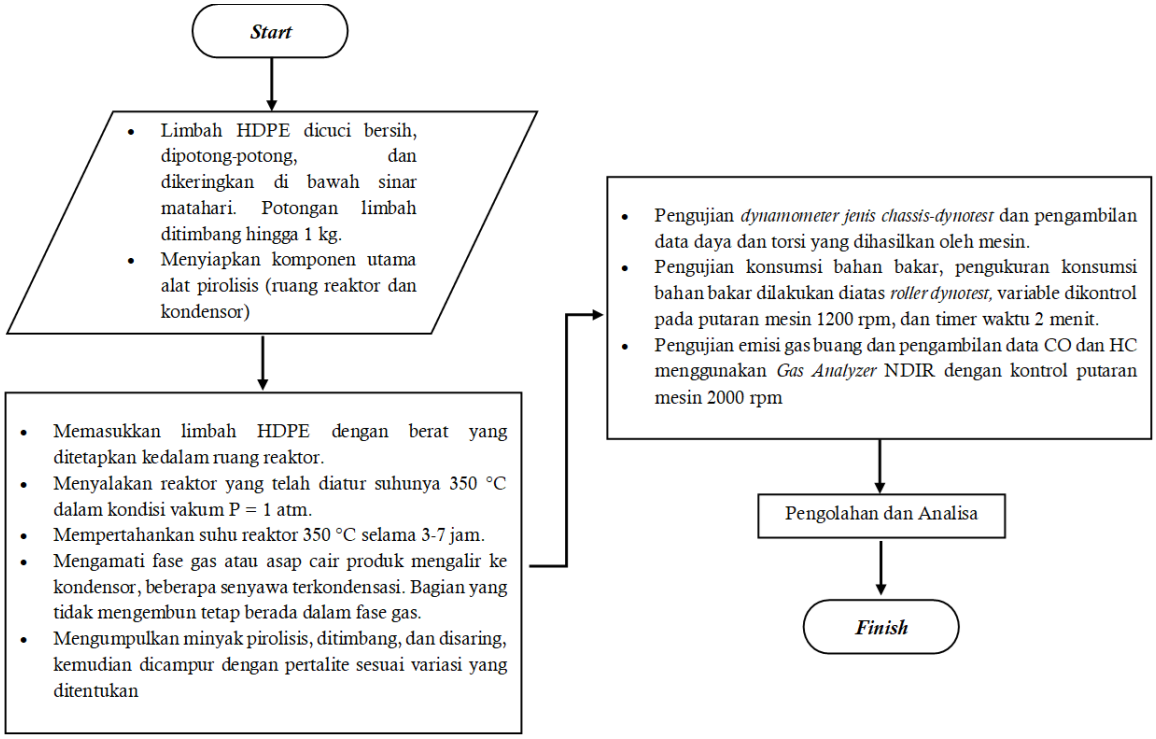


Gambar 3. Alat dan Bahan Uji: Gelas Ukur dan Bahan Bakar, *Stopwatch, Digital Tachometer*

Pengujian emisi gas buang kendaraan bermotor untuk mengukur unsur senyawa HC (hidrokarbon), dan CO (gas monoksida) menggunakan *gas analyzer* jenis QROTECH – 401 dengan pendeteksian *Non-Dispersive Infrared* (NDIR *Method*) pada suhu mesin optimal dan putaran mesin 1200 - 2000 rpm dengan data pembanding ambang batas emisi gas buang dari peraturan Kementerian Lingkungan Hidup.

Gambar 4. Gas Analyzer tipe *Non-Dispersive Infrared* merk QROTECH QRO-401

Analisis hasil pengujian dari data yang diperoleh untuk mengetahui pengaruh campuran minyak pirolisis dengan pertalite terhadap karakteristik motor. Perbandingan hasil pengujian antara setiap persentase campuran dapat membantu mengidentifikasi dampaknya terhadap daya, torsi, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang. Penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang pengaruh campuran minyak pirolisis dari limbah plastik HDPE dengan pertalite terhadap karakteristik motor bensin matic 113,7cc injeksi dan potensi penggunaan minyak pirolisis limbah plastik HDPE sebagai alternatif bahan bakar dan dampaknya terhadap konsumsi bahan bakar, performa mesin dan emisi gas buang.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini disajikan secara table dan grafik hasil pengujian variasi campuran bahan bakar pertalite dengan minyak HDPE dari limbah bekas, secara berturut membahas kinerja torsi dan daya, konsumsi bahan bakar, dan hasil emisi gas buang.

Hasil Perbandingan Nilai Torsi dan Daya

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *dynotest/dynamometer* pada kinerja mesin injeksi matic 113,7cc terhadap pengaruh variasi campuran bahan bakar didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil kinerja mesin dengan variasi campuran bahan bakar pertalite dan minyak limbah HDPE

Komposisi Pertalite dan Minyak HDPE (dalam % per 100 ml)	Daya (dalam HP/ RPM)	Torsi (dalam N.m/ RPM)	*Top Speed* (dalam KM/Jam)
90 : 10	7.6/ 5805	16.35/ 2279	86.4
80 : 20	7.7/ 6003	14.45/ 2330	85.9
70 : 30	8.0/ 5841	14.69/ 2464	84.8
60 : 40	7.6/ 5576	14.22/ 2599	85.5
50 : 50	7.2/ 5765	13.45/ 2553	84.8

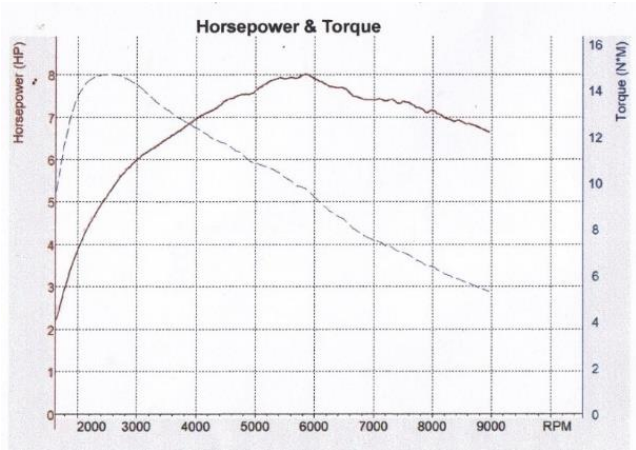
Tabel 2. Data Spesifikasi Motor Uji sebagai Pembanding

Spesifikasi	Daya (dalam HP/ RPM)
Merk	Yamaha Mio Soul GT jenis Skuter Matic
Tahun Perakitan	2013
Tipe Mesin	4 Langkah, 2 Valve SOHC
Sistem Bahan Bakar	Injeksi, YMJetFI
Jumlah / Posisi Silinder	Cylinder Tunggal / Mendatar
Volume Silinder	113,7 cc
Diameter x Langkah	50,0 × 57,9 mm
Perbandingan Kompresi	9,3 : 1
Sistem Penggerak	CVT
Daya Maksimum	7,75 ps (7,35 HP) - 8.500 rpm
Torsi Maksimum	8,5 N.m (0,87kgf-m) - 5.000 rpm

Berdasarkan data variasi bahan bakar campuran pada tabel 1 dapat ditunjukkan hasil bahwa capaian daya tertinggi tercapai dengan komposisi campuran bahan bakar 70% pertalite dan 30% minyak limbah HDPE, dengan nilai 8.0 HP pada putaran mesin 5841 rpm, sedangkan capaian terendahnya terjadi pada komposisi campuran bahan bakar 50%:50% dengan nilai 7.2 HP pada putaran 5765 rpm. Capaian torsi tertinggi tercapai dengan komposisi campuran bahan bakar 90% pertalite dan 10% minyak limbah HDPE dengan nilai 16.35 N.m pada putaran mesin 2279 rpm dan nilai terendahnya tercapai pada komposisi campuran bahan bakar 50%:50% dengan nilai 13.45 N.m pada putaran mesin 2553 rpm, serta capaian top speed tercapai pada kecepatan 86.4 KM/Jam dengan komposisi campuran bahan bakar 90%:10%.

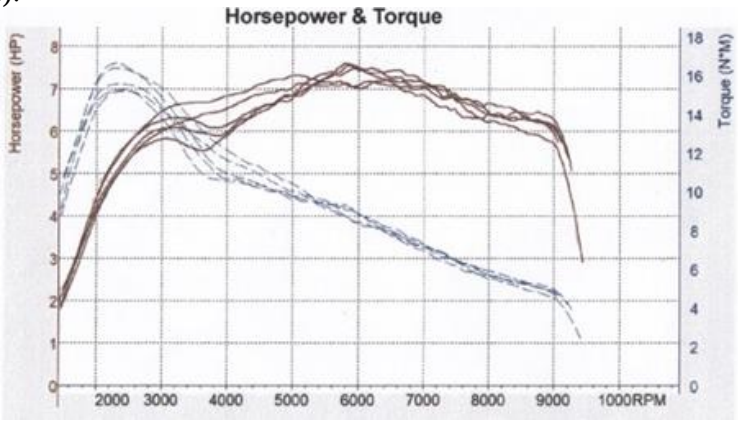
Jika diperhatikan hasil daya tertinggi (70% pertalite dan 30% minyak limbah HDPE) yang dicapai berdasarkan grafik daya pada gambar 6, puncak daya sebesar 8.0 HP pada putaran 5841 rpm, lalu terjadi penurunan daya setelah 6000 rpm. Hal ini mengindikasikan bahwa daya maksimal yang dicapai lebih cepat terjadi saat di bawah 6000 rpm, dan setelah itu tenaga mesin kembali menurun. Sementara itu, berdasarkan tabel 2 tentang spesifikasi standar pabrikan, kendaraan ini memiliki daya maksimal 7,35 HP pada saat putaran mesin 8500 rpm. Kualitas daya mesin pada bahan bakar campuran dengan komposisi 70:30 lebih kuat daripada standar pabrikan, namun puncak daya itu dicapai pada putaran mesin di bawah 6000 rpm, sedangkan standar pabrikan memiliki kestabilan daya sebesar 7,3 HP pada putaran mesin tinggi hingga 8500 rpm.

Ini berarti mesin pertama lebih cenderung sesuai untuk kecepatan rendah dan torsi yang lebih tinggi sehingga cepat mendapatkan akselerasi, sementara mesin kedua cenderung memberikan daya maksimumnya pada putaran mesin yang lebih tinggi, dan lebih cocok untuk kecepatan tinggi (Wisnaningsih et al., 2022). Penggunaan campuran bahan bakar alternatif secara umum memberikan peningkatan pada daya mesin, sebagaimana hasil penelitian pada pencampuran butanol 5% menghasilkan peningkatan daya puncak sebesar 13,6 kW atau 15% daripada standar daya variabel kontrol sebelumnya (Sanjaya & Syarifudin, 2020).



Gambar 6. Grafik Torsi dan Daya berdasarkan Campuran Bahan Bakar 70% Pertalite dan 30% Minyak HDPE

Sedangkan hasil torsi tertinggi yang diperoleh dari komposisi campuran bahan bakar dengan kandungan 90% pertalite dan 10% minyak HDPE limbah plastik seperti tampak pada gambar 7 grafik nilai torsi dan daya, diperoleh nilai torsi puncak 16.35 N.m pada putaran mesin 2279 rpm, nilai ini lebih tinggi capaiannya daripada standar pabrikan motor itu sendiri dengan nilai maksimumnya adalah 8,5 N.m pada 5.000 rpm. Dengan kata lain, pada putaran mesin yang lebih rendah (2279 rpm), mesin dapat memberikan tenaga yang lebih besar daripada ketika beroperasi pada putaran mesin tertinggi yang direkomendasikan oleh pabrikan (5000 rpm). Ini bisa dianggap sebagai keuntungan dalam hal kinerja rendah atau akselerasi, karena torsi yang lebih tinggi (16,35 N.m) pada putaran mesin rendah bisa memberikan daya ekstra ketika dibutuhkan, misalnya untuk akselerasi. Namun, pencapaian tinggi-rendahnya daya dan torsi tidak hanya disebabkan faktor bahan bakar saja, masih banyak faktor lain yang mempengaruhinya (Widiyatmoko et al., 2022). Faktor lain seperti daya, transmisi, sistem bahan bakar, sistem pengapian dan pemilihan busi, serta desain keseluruhan mesin juga harus dipertimbangkan untuk mendapatkan gambaran yang lebih lengkap tentang kinerja motor. Juga, penting untuk selalu mengacu pada rekomendasi pabrikan dalam penggunaan sepeda motor untuk menjaga kinerja dan keamanan kendaraan (Arsad Al Banjari et al., 2022).



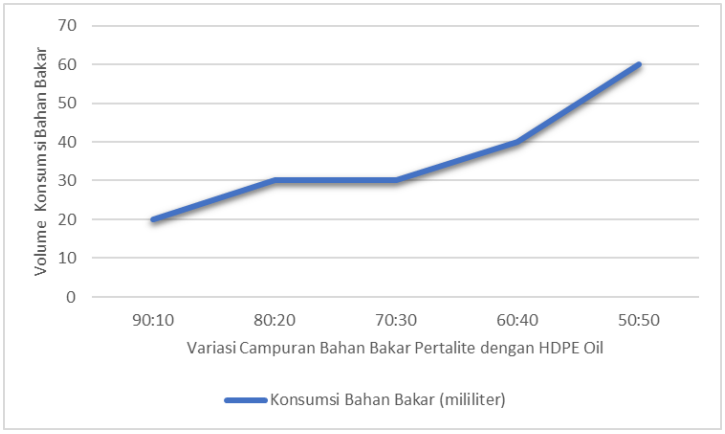
Gambar 7. Grafik Torsi dan Daya berdasarkan Campuran Bahan Bakar 90% Pertalite dan 10% Minyak HDPE

Hasil Perbandingan Nilai Konsumsi Bahan Bakar

Data hasil perbandingan nilai konsumsi bahan bakar terlihat sebagaimana tabel 3 dan gambar 8. Campuran dengan nilai konsumsi paling rendah adalah 90% Pertalite dengan 10% minyak HDPE dengan jumlah konsumsi sebesar 20 ml dalam waktu 2 menit dan putaran mesin 1200 rpm, sedangkan konsumsi paling tinggi terjadi pada campuran 50%:50% dengan jumlah konsumsi sebesar 60 ml dalam waktu dan putaran mesin yang sama. Hal ini dimungkinkan terjadi karena semakin tinggi nilai oktan digunakan dengan putaran mesin dan rasio kompresi yang sama maka konsumsi bahan bakar yang dihasilkan akan lebih rendah, hal ini sejalan dengan hasil penelitian tentang pengaruh nilai RON terhadap torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar (Ariawan et al., 2016). Artinya, semakin kecil unsur campuran minyak HDPE dengan Pertalite akan menghasilkan konsumsi bahan bakar semakin rendah, begitu juga sebaliknya.

Tabel 3. Perbandingan hasil konsumsi bahan bakar campuran Pertalite dan HDPE *Oil*

Komposisi Pertalite dan Minyak HDPE (dalam % per 100 ml)	Kontrol Batas Waktu (menit)	Kontrol Putaran Mesin (rpm)	Konsumsi Bahan Bakar (mililiter)
90 : 10	2	1200	20
80 : 20	2	1200	30
70 : 30	2	1200	30
60 : 40	2	1200	40
50 : 50	2	1200	60



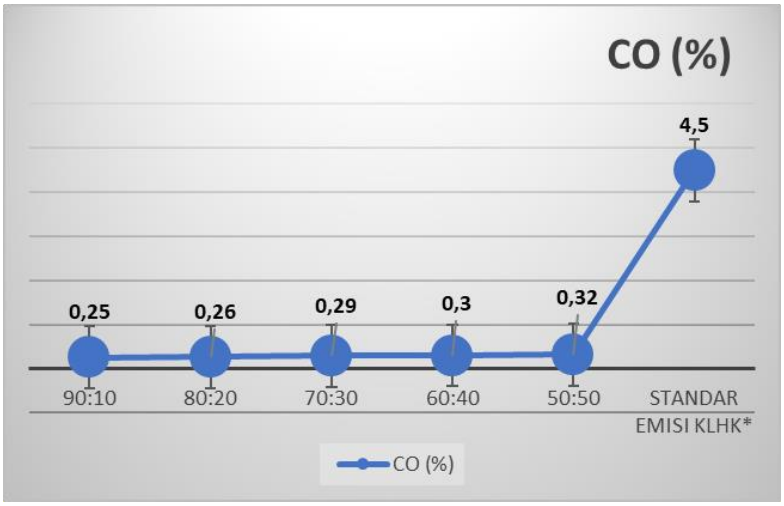
Gambar 8. Grafik Perbandingan Hasil Konsumsi Bahan Bakar Campuran Pertalite dan HDPE *Oil*

Hasil Emisi Gas Buang menggunakan bahan bakar campuran Pertalite dan Minyak Limbah HDPE

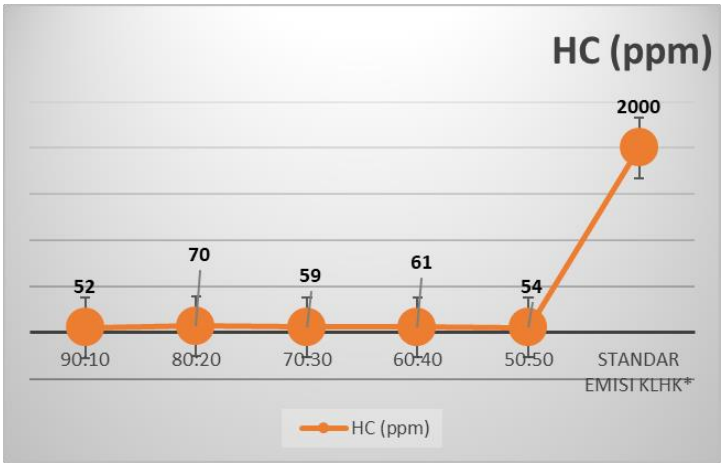
Tabel 4. Perbandingan Hasil Emisi Gas Buang pada Bahan Bakar Campuran Pertalite dan HDPE *Oil*

Komposisi Pertalite dan Minyak HDPE (dalam % per 100 ml)	CO (%)	HC (ppm)	Metode NDIR - Idle (rpm)
90 : 10	2	1200	20
80 : 20	2	1200	30
70 : 30	2	1200	30
60 : 40	2	1200	40
50 : 50	2	1200	60
Standar Emisi KLHK*	4,5	2000	1200

***Jenis kendaraan roda dua Kategori L tahun perakitan > 2010,** (Kementerian Lingkungan Hidup, 2006)



Gambar 9. Grafik Hasil Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO)



Gambar 10. Grafik Hasil Emisi Gas Buang Hidrokarbon (HC)

Berdasarkan data yang tertera pada tabel 4 dan gambar grafik 9 dan 10 tentang Emisi Gas Buang karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) pada variasi campuran bahan bakar, terlihat bahwa nilai emisi gas buang jenis CO terendah adalah 0,25% pada campuran pertalite 90% dengan minyak HDPE 10%, sedangkan nilai tertinggi adalah 0,32% pada campuran pertalite 50% dengan minyak HDPE 50%. Sementara nilai HC terendah adalah 52 ppm pada campuran pertalite 90% dengan minyak HDPE 10%, dan nilai HC tertinggi adalah 70 ppm pada campuran pertalite 80% dengan minyak HDPE 20%. Berdasarkan penelitian sebelumnya, pengaruh campuran memberikan sedikit efek emisi lebih tinggi serta nilai torsi dan daya yang tinggi pula, ini disebabkan minyak pirolisis hasil limbah plastik HDPE memiliki kandungan oktan, viskositas dan nilai kalor dengan kualitas lebih rendah dari minyak golongan bensin seperti premium dan pertalite (Arditama & Setyowidodo, 2020; Khairil et al., 2020; Kurniawan & Nasrun, 2014).

Data hasil eksperimen dengan variasi campuran bahan bakar terhadap emisi gas buang dalam kategori aman terhadap lingkungan, hal ini disebabkan nilai-nilai hasil eksperiman jauh di bawah ambang batas baku emisi gas buang yang tertuang dalam keputusan Menteri Lingkungan Hidup dengan status produk hukum masih berlaku hingga sekarang, yaitu Permen LH No 5 Tahun 2006, dengan ketentuan nilai ambang batas CO sebesar 4,5% dan HC 2000 ppm pada jenis kendaraan roda dua kategori L tahun perakitan > 2010 (Kementerian Lingkungan Hidup, 2006).

Penggunaan campuran bahan bakar alternatif etanol dengan bensin pada kendaraan bermotor 125cc sistem injeksi sebelumnya juga menghasilkan tren penurunan emisi gas buang pada kadar CO, CO_2, dan HC, di mana semakin tinggi putaran mesin, maka emisi yang dihasilkan semakin menurun (Rifal et al., 2021). Hasil penelitian dan rekomendasi terhadap hasil uji emisi gas buang mengungkapkan bahwa jika konsentrasi CO tinggi, ini menunjukkan adanya pembakaran tidak sempurna, yang mungkin disebabkan masalah seperti busi mati atau kesalahan firing. Sementara itu, tingginya angka HC dalam emisi gas menandakan bahan bakar yang tidak terbakar. Jika kadar HC terlalu tinggi, itu menandakan adanya kelebihan bahan bakar, misalnya campuran yang terlalu kaya. Dari pemeriksaan emisi gas buang, dapat dinilai apakah bahan bakar digunakan secara boros atau efisien, sekaligus memeriksa apakah kompresi mesin dan sistem pengapian kendaraan berfungsi dengan baik. Hasil uji emisi digunakan untuk mendukung perbaikan dan perawatan mesin supaya performa lebih optimal dan ramah lingkungan (Tampubolon & Rivai Koto, 2019).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan variasi persentase campuran bahan bakar pertalite dengan minyak pirolisis dari limbah HDPE, didapatkan hasil terbaik terhadap torsi (16.35 N.m/ 2279 rpm), konsumsi bahan bakar (20 ml/ 2 menit/ 1200 rpm) dan emisi hasil gas buang yang ramah lingkungan (kadar: CO 0,25% dan HC 52 ppm) ialah campuran 90% pertalite dan 10% minyak HDPE. Capaian performa daya terbaik (8.0 HP/ 5841 rpm) adalah campuran 70% pertalite dan

30% minyak HDPE. Sedangkan semakin banyak campuran minyak HDPE, akan berdampak pada penurunan atau ketidakstabilan performa mesin, tingginya konsumsi bahan bakar, dan tingginya paparan emisi gas buang, hal ini dipengaruhi kecenderungan nilai properti minyak pirolisis seperti kandungan oktan, viskositas dan nilai kalor dengan kualitas lebih rendah daripada minyak golongan bensin seperti premium dan pertalite.

Saran

Agar mendapatkan hasil penelitian yang lebih optimal dikesempatan selanjutnya, disarankan untuk melakukan peningkatan proses pirolisis dengan variasi peningkatan suhu untuk mencapai grade densitas minyak sesuai ketetapan pemerintah, malakukan uji karakteristik minyak untuk melihat nilai properti bahan bakarnya. Disarankan untuk melakukan percobaan penggunaan campuran dengan proporsi yang berbeda-beda, dikarenakan akan menghasilkan *trade-off* atau keseimbangan antara performa, efisiensi, dan dampak lingkungan.

REFERENSI

Aisien, F. A., & Aisien, E. T. (2023). Production and Characterization of Liquid Oil from the Pyrolysis of Waste High-Density Polyethylene Plastics Using Spent Fluid Catalytic Cracking Catalyst. *Sustainable Chemistry for Climate Action*, *2*, 100020. https://doi.org/10.1016/j.scca.2023.100020

Alfiah, T., & Yustiani, Y. M. (2021). Determination of Service Priority Areas as an Effort to Increase Urban Solid Waste Service Coverage (Case study Ngawi Regency). *Journal of Physics: Conference Series*, *2117*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/2117/1/012033

Amir, A., Waluyo, B. S., & Effendi, Y. K. (2021). Analisis Pengaruh Emisi Gas Buang terhadap Pemakaian Turbo Cylone pada Sepeda Motor Matic 110 CC Berbahan Bakar Pertamax. *Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang*, *5*(2), 18–21.

Arditama, T., & Setyowidodo, I. (2020). *Investigasi Pengaruh-pengaruh Hasil Produk Pirolisis Plastik Pet Menggunakan Metode Matlab terhadap Kerja Mesin*.

Ariawan, I. W. B., Kusuma, I. G. B. W., & Adnyana, I. W. B. (2016). Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Pertalite terhadap Unjuk Kerja Daya, Torsi dan Konsumsi Bahan Bakar pada Sepeda Motor Bertransmisi Otomatis. *Jurnal METTEK*, *2*(1), 51–58.

Arif, A., Rifdarmon, Milana, Martias, & Hidayat, N. (2020). Effects of Fuel Type on Performance in Gasoline Engine with Electronic Fuel Injection System. *Journal of Physics: Conference Series*, *1594*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1594/1/012036

Arsad Al Banjari, M., Wanditya Setiawan, F., & Yugo Pratomo, D. (2022). Pengaruh Penggunaan Berbagai Jenis Material Elektroda Busi Terhadap Performa Mesin dan Bentuk Nyala Api Pada Mesin Bensin 113 Sentimeter Kubik (CC). *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, *5*(2), 101–112. http://journal2.um.ac.id/index.php/jtmp

Dharmanasa, T., Danial, D., & Ivanto, M. (2021). Analisa Perbandingan Bahan Bakar Pertalite dan Pertamax Terhadap Karakteristik Motor Honda Fit X NF 100 SE. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, *2*(2), 142–151.

Fakhrhoseini, S. M., & Dastanian, M. (2013). Predicting pyrolysis products of PE, PP, and PET using NRTL activity coefficient model. *Journal of Chemistry*. https://doi.org/10.1155/2013/487676

Kementerian Lingkungan Hidup. (2006). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama*.

Khairil, Jihad, M., Riayatsyah, T. M. I., Bahri, S., Sofyan, S. E., & Jalaluddin. (2020). The effect of gasoline-waste plastics oil blends on SI engine performance at high-speed rotation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *463*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/463/1/012002

Kurniawan, E., & Nasrun, N. (2014). Karakterisasi Bahan Bakar Dari Sampah Plastik Jenis High Density Polyethelene (HDPE) Dan Low Density Polyethelene (LDPE). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, *3*(2), 41–52.

Maithomklang, S., Wathakit, K., Sukjit, E., Sawatmongkhon, B., & Srisertpol, J. (2022). Utilizing Waste Plastic Bottle-Based Pyrolysis Oil as an Alternative Fuel. *ACS Omega*, *7*(24), 20542–20555. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c07345

Murti, Z., Dharmawan, Siswanto, Soedjati, D., Barkah, A., & Rahardjo, P. (2022). Review of the Circular Economy of Plastic Waste in Various Countries and Potential Applications in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1098*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1098/1/012014

Papuga, S. V., Gvero, P. M., & Vukić, L. M. (2016). Temperature and Time Influence on the Waste Plastics Pyrolysis in the Fixed Bed Reactor. *Thermal Science*, *20*(2), 731–741. https://doi.org/10.2298/TSCI141113154P

Rifal, M., Pido, R., & Dera, N. S. (2021). Pengaruh Campuran Bahan Bakar Ethanol Bensin terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang pada Kendaraan Bermotor 125 CC Sistem Injeksi. *Gojise: Journal of Infrastructure & Science Engineering*, *IV*(2), 50–57.

Sanjaya, F. L., & Syarifudin, S. (2020). Pengaruh Penambahan Butanol Sebagai Campuran Bahan Bakar Premium Terhadap Torsi dan Daya Mesin Bensin Dengan Sistem EGR. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, *1*(1), 7–10. https://doi.org/10.35970/accurate.v1i1.175

Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Daud, W. M. A. W., & Aroua, M. K. (2018). Pyrolysis of Plastic Waste for Liquid Fuel Production as Prospective Energy Resource. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *334*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/334/1/012001

Szwaja, M., Chwist, M., Szwaja, S., & Juknelevičius, R. (2021). Impact of Pyrolysis Oil Addition to Ethanol on Combustion in the Internal Combustion Spark Ignition Engine. *Clean Technologies*, *3*(2), 450–461. https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020026

Tampubolon, K., & Rivai Koto, F. (2019). Analisis Perbandingan Efisiensi Kerja Mesin Bensin pada Mobil Tahun 2000 Sampai Tahun 2005 dan Mobil Tahun 2018 serta Pengaruh Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Cara Perawatannya sebagai Rekomendasi Bagi Konsumen. *Journal of Mechanical Enggineering, Manufactures, Materials and Energy)*, *3*(02). https://doi.org/10.31289/jmemme.v3i2.2773.g2352

Uebe, J., Kryzevicius, Z., Majauskiene, R., Dulevicius, M., Kosychova, L., & Zukauskaite, A. (2022). Use of Polypropylene Pyrolysis Oil in Alternative Fuel Production. *Waste Management and Research*, *40*(8), 1220–1230. https://doi.org/10.1177/0734242X211068243

Widiyatmoko, Arfan Ishartanto, Mike Elly Anitasari, Ma'rifat Al Hakim, & Khoirul Mu'allif. (2022). Effect of Changing Primary Fixed Sheave Angle and Roller Weight on Torque, Power, Top Speed, and Acceleration on Matic Motorcycles. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, *6*(2), 327–336. https://doi.org/10.37339/e-komtek.v6i2.1060

Wisnaningsih, Thohirin, M., Indriyani, Apriyanto, A., & Saputra, R. (2022). Perubahan Variasi Roller dan Pegas CVT Terhadap Torsi, Daya, Akselerasi Pengaruh pada Sepeda Motor Beat Fi. *Jurnal Teknika Sains*, *07*(02), 110–121.