

PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR SOLAR, BIO-SOLAR DAN PERTAMINA DEX TERHADAP OPASITAS GAS BUANG PADA MESIN *DIESEL COMMONRAIL D-4D TURBOCHARGER*

Andi Hidayat, Paryono, Partono
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang (UM)
Jl. Semarang 5, Malang (65145)
E-mail: andi_hi_dayat@yahoo.co.id

Abstrak : Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar solar, bio solar, dan pertamina dex terhadap opasitas gas buang pada mesin *diesel commonrail D-4D turbocharger*. Desain penelitian ini adalah eksperimental. Bentuk rancangan dalam penelitian ini adalah rancangan faktorial. Setelah dilakukan analisis data hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan ada pengaruh penggunaan bahan bakar Solar, Bio Solar dan Pertamina Dex terhadap opasitas gas buang pada mesin *diesel commonrail D-4D turbocharger*

Kata Kunci: mesin *diesel*, bahan bakar *diesel*, opasitas.

Abstract *This research was conducted to determine the effect of the use of diesel fuel, bio-diesel, and Pertamina Dox to the exhaust gas opacity in the D-4D commonrail turbocharger diesel engine. The design of this study is experimental. The design in this research is factorial design. After analyzing the research data, it can be concluded that there is an influence of the use of diesel fuel, Bio Solar and Pertamina Dex on the exhaust gas opacity in the D-4D commonrail diesel engine turbocharger*

Keyword: *diesel engine, diesel fuel, opacity.*

Konsumsi bahan bakar solar di Indonesia pada tahun 2005 rata-rata mencapai 70.000 kilo liter per harinya atau setara dengan 26 juta kilo liter pertahun. Pada kondisi konsumsi sebanyak itu padahal produksi bahan bakar solar dalam negeri tidak mencapai 13 juta kilo liter per tahun, (Martini Rahayu, 2010) kesimpulannya, sehingga diperlukan impor bahan bakar solar lebih banyak lagi. Mengingat konsumsi bahan bakar solar, khususnya pada sektor transportasi maupun industri yang terus meningkat, maka diperkirakan volume impor bahan bakar solar ini akan terus meningkat. Karena itu harus segera diambil kebijakan penganekaragaman atau diversifikasi bahan bakar pengganti bahan bakar solar, seperti bio-solar.

Penyikapan pemerintah dalam menanggulangi keterbatasan minyak bumi sering kali dirasa kurang solutif. Pemerintah membatasi solar kusus pada kendaraan bermotor yang diproduksi tahun 2008 kebawah. Sedangkan kendaraan dengan

produksi 2008 keatas lebih ditekankan untuk menggunakan pertamina dex.

Penggunaan pertamina dex memang dapat mengurangi biaya APBN yang dialokasikan untuk subsidi, dalam hal ini subsidi bahan bakar minyak dengan tawaran unjuk kerja serta efisiensi pertamina dex lebih baik dari solar. Namun sudah seharusnya suatu kebijakan tidak hanya dikaji dari faktor ekonomi, melainkan juga dari faktor lingkungan dan kesehatan.

Erwin (2006) menyebutkan bahwa polusi udara dari kendaraan bermotor, pembangkit tenaga listrik, industri dan rumah tangga menyumbang 70 % dengan komposisi kuantitas karbonmonoksida (CO) 99 %, hidrokarbon (HC) sebanyak 89 %, dan oksida nitrogen (Nox) sebanyak 73 % serta partikulat lainnya yang meliputi timah hitam, sulfur oksida dan partikel debu.

Bahan Bakar mesin *diesel* adalah minyak bumi yang sudah diolah dan dikembangkan menjadi solar, bio-solar dan pertamina dex. Bahan bakar minyak yang digunakan untuk mesin *diesel* harus memiliki bilangan cetane,

berbeda dengan mesin bensin yang menggunakan bahan bakar minyak yang memiliki bilangan oktan. Minyak bumi merupakan hasil dari minyak mentah dipisahkan menjadi produknya dengan melalui proses yang disebut proses distilasi bertingkat, (LEMIGAS, 2010).

Solar merupakan sumber energi tak terbarukan dan merupakan bahan bakar utama kendaraan bermesin *diesel*. Solar diperoleh dari minyak bumi setelah melalui proses pemisahan, konversi, dan pemurnian. Pada proses pemisahan, minyak mentah mengalami proses yang dikenal sebagai distilasi fraksional. Setelah ini, senyawa yang berbeda dalam minyak mentah lantas dipisahkan satu sama lain tergantung pada titik didih masing-masing. Daryanto, (2014) menjelaskan. “Senyawa yang memiliki titik didih tinggi berada dibagian bawah kolom, sementara senyawa dengan titik didih rendah tetap berada di atas. Dengan cara ini, minyak mentah lantas disuling untuk menghasilkan berbagai produk seperti gas propana, bensin, solar, dan minyak pelumas”.

Bio-solar sendiri adalah bahan bakar mesin *diesel* yang terbuat dari bahan terbarukan atau secara khusus merupakan bahan bakar mesin *diesel* dengan campuran minyak nabati. Martini Rahayu (2010) menjelaskan bahwa “bio-solar terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak yang dibuat dari minyak nabati, minyak hewani atau dari minyak goreng bekas atau daur ulang melalui proses trans atau esterifikasi (bahan bakar cair dari pengolahan tumbuhan) di samping Bio-etanol”. Sehingga bio-solar menjadi sumber energi terbarukan yang sangat bermanfaat untuk dunia otomotif.

Pertamina dex memiliki beberapa keunggulan utama dibandingkan bahan bakar *diesel* lainnya. Di antaranya adalah angka cetane minimum 53, sehingga membuat mesin lebih bertenaga, lebih irit, suara lebih halus dan mudah dinyalakan. Selain itu, kandungan sulfur di bawah 300 ppm dan kandungan partikulat yang sangat sedikit dan bersih, membuat emisi dan opasitas gas buang kendaraan menjadi lebih ramah lingkungan.

Mesin *diesel* adalah sejenis mesin pembakaran dalam, lebih spesifik lagi, sebuah mesin pemicu kompresi dimana bahan bakar dinyalakan oleh suhu tinggi gas yang dikompresi dan bukan oleh alat berenergi lain (seperti busi). “Mesin *diesel* sering digunakan pada kendaraan yang mempunyai kapasitas mesin yang besar dan juga tenaga yang besar. Hal ini dikarenakan mesin *diesel* cocok untuk penggunaan jarak dan tenaga yang besar”. (Sukoco.2008).

Mesin *diesel* ini ditemukan pada tahun 1892 oleh Rudolf Diesel, yang menerima paten pada 23 Februari 1893. Diesel menginginkan sebuah mesin untuk dapat digunakan dengan berbagai macam bahan bakar termasuk debu batu bara. Dia mempertunjukkannya pada Exposition Universelle (Pameran Dunia) tahun 1900 dengan menggunakan minyak kacang. Kemudian diperbaiki dan disempurnakan oleh Charles F. Kettering. (Sukoco. 2008)

Ketika udara dikompresi suhunya akan meningkat (seperti dinyatakan oleh Hukum Charles), mesin *diesel* menggunakan sifat ini untuk proses pembakaran. Udara ditarik ke dalam ruang bakar mesin *diesel* dan dikompresi oleh piston yang merapat, jauh lebih tinggi dari rasio kompresi dari mesin bensin. Beberapa saat sebelum piston pada posisi Titik Mati Atas (TMA) atau BTDC (Before Top Dead Center), bahan bakar *diesel* disuntikkan ke ruang bakar dalam tekanan tinggi melalui nozzle supaya bercampur dengan udara panas yang bertekanan tinggi. (Zainal Arifin. 2008).

Karena membutuhkan tekanan kompresi yang tinggi, mesin *diesel* membutuhkan beberapa komponen tambahan untuk menunjang kerja pada saat pembakaran agar lebih optimal, Untuk meningkatkan kemampuan mesin *diesel*, umumnya ditambahkan komponen:

- *Turbocharger* atau supercharger untuk memperbanyak volume udara yang masuk ruang bakar karena udara yang masuk ruang bakar didorong oleh turbin pada turbo/supercharger.
- Intercooler untuk mendinginkan udara yang akan masuk ruang bakar. Udara yang panas volumenya akan

mengembang begitu juga sebaliknya, maka dengan didinginkan bertujuan supaya udara yang menempati ruang bakar bisa lebih banyak.

Polusi udara oleh gas buang dan bunyi pembakaran motor *diesel* merupakan gangguan terhadap lingkungan. (Komponen-komponen gas buang yang membahayakan antara lain adalah asap hitam (jelaga), hidro karbon yang tidak terbakar (HC), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO) dan NO₂. NO dan NO₂ biasa dinyatakan dengan NO_x” (Havendry Adly, 2008). Namun jika dibandingkan dengan motor bensin, motor *diesel* tidak banyak mengandung gas yang berbahaya. Disamping itu, kadar gas NO₂ sangat rendah jika dibandingkan dengan gas NO. Jadi bisa dikatakan bahwa komponen utama gas buang motor *diesel* yang membahayakan adalah NO dan asap hitam. Selain dari komponen tersebut di atas beberapa hal berikut yang merupakan bahaya atau gangguan meskipun bersifat sementara.

Jelaga (soot) adalah butiran arang yang halus dan lunak yang menyebabkan munculnya asap hitam dimana asap hitam terjadi karena proses pembakaran yang tidak sempurna. “Asap ini membahayakan lingkungan karena mengkeruhkan udara sehingga mengganggu pandangan, tetapi karena adanya kemungkinan mengandung karsinogen. Motor *diesel* yang mengeluarkan asap hitam yang sekalipun mengandung partikel karbon yang tidak terbakar tetapi bukan karbon monoksida (CO)” (Widianto.2014). Jika jelaga yang terjadi terlalu banyak, gas buang yang keluar dari mesin akan berwarna hitam dan mengotori udara. Hal inilah yang membuat jelaga menjadi masalah serius yang harus segera dicari solusinya.

Proses terbentuknya jelaga adalah karena pada saat terjadi pembakaran karbon tidak mempunyai cukup waktu untuk bereaksi dengan oksigen akibatnya terjadi kelebihan karbon dari bahan bakar yang tidak terbakar. Terbentuknya karbon-karbon padat (jelaga) karena butir-butir bahan bakar yang terjadi saat penyemprotan terlalau besar atau beberapa butir terkumpul menjadi satu, maka akan terjadi dekomposisi. Hal tersebut

disebabkan karena pemanasan udara pada temperatur yang terlalu tinggi sehingga penguapan dan pencampuran dengan udara tidak dapat berlangsung sempurna. Saat dimana terlalu banyak bahan bakar yang disemprotkan maka terjadinya jelaga tidak dapat dihindarkan. Jelaga yang terlalu banyak menyebabkan gas buang yang keluar dari mesin akan berwarna hitam dan mengotori udara.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar solar, bio solar, dan pertamina dex dengan perubahan putaran mesin rendah (1500 rpm), menengah (2000 rpm) dan atas (3000 rpm) terhadap opasitas gas buang pada mesin *diesel commonrail D-4D turbocharger*.

METODE PENELITIAN

Mengacu pada teknik analisis dan pengumpulan data, maka penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen. Pengambilan data dilakukan untuk mengungkapkan data pada variabel opasitas gas buang sebagai akibat dari perlakuan perubahan bahan bakar (solar, bio-solar dan pertamina dex), perlakuan bahan bakar yang berbeda yaitu pada putaran rendah 1500 rpm, putaran menengah 2000 rpm dan putaran atas 3000 rpm. Sesuai hipotesis penelitian ini, maka dapat disederhanakan seperti Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Faktorial

		RPM		
		1500	2000	3000
Bahan Bakar	Solar	A1B1	A2B1	A3B1
	Bio-Solar	A1B2	A2B2	A3B2
	Pertama x Dex	A1B3	A2B3	A3B3

Dari Tabel 1 maka bentuk rancangan dalam penelitian ini adalah rancangan faktorial 3 x 3 = 9 dengan dilakukan pengulangan penelitian 5 kali pengulangan tiap tahap variabel. Kusriningrum (2008:15) menjelaskan pengulangan ini dari rumus:

$$(t-1)(n-1) > 15$$

$$(6-1)(n-1) > 15$$

$$n > 4$$

Karena permintaan pengulangan data harus lebih dari 4 kali maka diambil 5 kali pengulangan pada setiap variabel.

Objek penelitian dalam penelitian ini adalah mobil *diesel commonrail* merek Toyota tipe Kijang Innova *Commonrail D4-D Turbocharger* dengan 4 silinder. Alasan dipilihnya mesin *diesel commonrail* dikarenakan tepat untuk semua jenis bahan bakar baik solar maupun pertamina dex.

Teknik analisa data yang digunakan adalah uji normalitas, uji homogenitas dan metode statistik yang menggunakan metode analisis varian (Analysis of Variance).

HASIL

Hasil eksperimen didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 2. Data Hasil Penelitian

Bahan Bakar	RPM	Sampel					Mean
		1	2	3	4	5	
Solar	1500	4,1	4,1	4,8	4,1	5,4	4,5
	2000	5,1	4,7	4	6,4	6	5,24
	3000	5,5	5,5	4,8	6,1	5,7	5,52
Bio Solar	1500	2,7	2,7	4,1	4,1	4,1	3,54
	2000	4	4	4	3,4	4	3,88
	3000	6	3,8	5,8	5,4	4,8	5,16
Pertamina Dex	1500	4,2	4,1	4,1	3,9	3,9	4,04
	2000	4	4	4,5	4,1	4,7	4,26
	3000	4,3	4,1	4,8	5,5	4,8	4,7

Dari data hasil penelitian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pada penggunaan bahan bakar solar, rerata opasitas lebih tinggi dari pada penggunaan bahan bakar bio-solar, sedangkan rerata opasitas pada bahan bakar bio-solar lebih rendah daripada pertamina dex. Namun untuk pertamina dex memiliki keunggulan opasitas dari semua putaran mesin lebih merata.

Tabel 3. Uji Normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Opasitas_
		Gas_Buang_
		Mesin_Diesel
N		45
Normal	Mean	4.538
Parameters	Std. Deviation	.8478
Most	Absolute	.208
Extreme	Positive	.208
Diff	Negative	-.137
Kolmogorov-Smirnov Z		
Asymp. Sig. (2-tailed)		

Dari hasil uji normalitas data pada Tabel 3 mempunyai nilai Asymptotic Significance > α (0,05), maka dapat diambil kesimpulan bahwa nilai opasitas dengan variasi bahan bakar berdistribusi normal.

Tabel 4. Uji Homogenitas Data

Bahan Bakar	N	Mean	Sig F
Bio Solar	15	4,193	0,807
Pertamax Dex	15	4,333	0,807
Solar	15	5,087	1,000

Dari hasil uji homogenitas data pada Tabel 4 menunjukkan semua data konsumsi bahan bakar nilai Sig. F > 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa data dari semua hasil opasitas gas buang beragam homogen.

Untuk memudahkan menentukan pasangan putaran mesin yang berbeda secara signifikan digunakan Multiple Comparisson.

Tabel 5. Multiple Comparisons

(I) Bahan Bakar	(J) Bahan Bakar	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Solar	Bio Solar	.893*	.2236	.001
	Pertamina Dex	.753*	.2236	.005
Bio Solar	Solar	-.893*	.2236	.001
	Pertamina Dex	-.140	.2236	.807
Pertamina Dex	Solar	-.753*	.2236	.005
	Bio Solar	.140	.2236	.807

PEMBAHASAN

Terdapat perbedaan opasitas gas buang yang signifikan antara penggunaan jenis bahan bakar solar, bio-solar dan pertamina dex ditunjukkan dengan adanya hubungan yang terjadi antara jenis bahan bakar dan opasitas gas buang yaitu hubungan linier terbalik, artinya semakin tinggi nilai setane bahan bakar maka opasitas gas buang semakin rendah. Kecuali pada bahan bakar bio solar yang mengandung minyak nabati lebih bagus daripada bahan bakar yang lain meski nilai setane berada dikisaran 48. Pada gambar 1 dapat dilihat grafik perubahan opasitas gas buang karena perubahan jenis bahan bakar. Pada pemakaian bahan bakar solar menunjukkan opasitas gas buang di putaran mesin menengah (2000 rpm) adalah 5,24 % sedangkan pada pemakaian bahan bakar bio-solar menunjukkan opasitas gas buang di putaran mesin menengah (2000 rpm) adalah 3,88 % sedangkan pada pemakaian bahan bakar pertamina dex menunjukkan opasitas gas buang di putaran mesin menengah (2000 rpm) adalah 4,26 %. Hal ini menunjukkan pengaruh yang signifikan pada penggunaan bahan bakar yang dicampur minyak nabati.

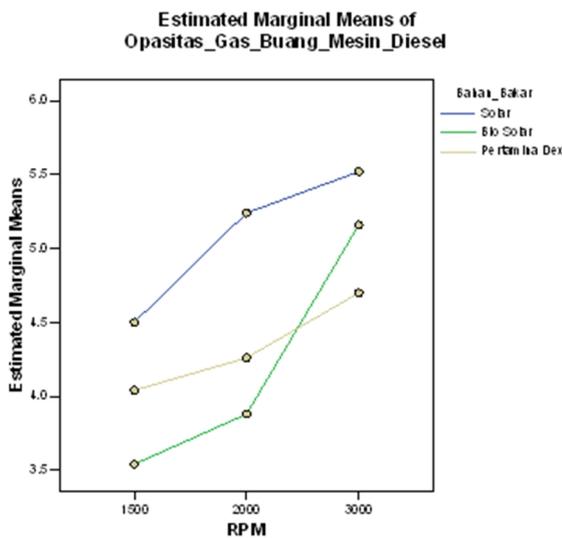
Pada pemakaian jenis bahan bakar solar opasitas gas buang sangat tinggi karena nilai setane tergolong rendah yakni 48 sehingga bahan bakar tidak bisa terbakar secara menyeluruh dan gas sisa pembuangan banyak terkandung jelaga yang menjadi penyebab opasitas relatif tinggi. Selain itu solar bukan termasuk dalam kategori bahan bakar yang direkomendasikan untuk kendaraan mesin diesel dengan mesin commonrail.

Pada pemakaian jenis bahan bakar bio-solar opasitas gas buang relatif rendah meskipun nilai setane tergolong rendah yakni 48 namun bio-solar mempunyai kelebihan pada kandungannya karena dicampur dengan minyak nabati yang ramah lingkungan. Hasil diatas terdukung oleh hasil penelitian Andi dan Muhaji (2014) yang menyatakan “Pada campuran bahan bakar solar dengan bio-diesel menunjukkan adanya perbaikan kualitas opasitas yang dikeluarkan.” Demikian juga hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Sumarsono (2008) yang menyatakan bahwa “makin naik presentase minyak jarak makin rendah opasitas gas buang. Hal ini disebabkan makin berkurangnya unsur karbon yang tidak terbakar dengan makin lebih baiknya proses pembakaran campuran bahan bakar pada presentase minyak jarak yang makin besar.

Pada pemakaian jenis bahan bakar pertamina dex menunjukkan opasitas gas buang rendah hal ini sejalan dengan nilai setane pertamina dex yang tergolong tinggi yakni 51 sehingga bahan bakar lebih bisa terbakar secara menyeluruh dan gas sisa pembuangan kurang mengandung jelaga yang menjadi penyebab opasitas relatif rendah.

Nitrogen tidak berperan pada proses pembakaran, namun pada temperatur yang tinggi nitrogen akan bereaksi membentuk senyawa NO. setelah proses pembakaran, NO ini masih bereaksi dengan oksigen membentuk NO2, yang merupakan gas berbahaya bagi kesehatan.

Begitu juga dengan SO2 atau Sulfur yang mengikat secara kuat pada kandungan reaksi pembakaran solar sehingga solar memiliki kepekatan yang lebih jika



Gambar 1. Grafik Analisis Penggunaan Jenis Bahan Bakar dan Perubahan Putaran Mesin terhadap Opasitas Gas Buang

dibandingkan bio-solar maupun pertamina dex.

Sedangkan untuk bio-solar dengan rekasi kimia seperti diatas memberikan kepekatan yang paling sedikit di putaran mesin bawah karena memang mengandung minyak nabati yang ramah lingkungan, namun bio-solar memiliki permasalahan yang hampir sama dengan solar, yakni angka cetane yang relatif rendah sehingga pada putaran tinggi membutuhkan proses reaksi pembakaran yang lebih yang berakibat pada opasitas yang tinggi pula.

Untuk pertamina dex memang tidak mengandung minyak nabati sehingga tidak seperti bio-solar yang memiliki nilai opasitas rendah diputaran mesin rendah. Namun pertamina dex unggul pada bilangan cetane yang tinggi sehingga berakibat pada reaksi pembakaran yang lebih sempurna dan merata. Hasil reaksi pembakaran didalam silinder yang sempurna menyebabkan kandungan sulfur yang memang sudah rendah pada pertamina dex ikut terbakar. Itulah yang menyebabkan opasitas pertamina dex tergolong stabil dibandingkan solar dan bio-solar.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dijabarkan pada Bab IV dan Bab V, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Ada perbedaan yang signifikan opasitas gas buang antara mesin *diesel commonrail* yang menggunakan bahan bakar solar, bio-solar dan pertamax dex.
2. Ada perbedaan yang signifikan opasitas gas buang antara mesin *diesel commonrail* dengan putaran mesin rendah (1500 rpm), menengah (2000 rpm) dan atas (3000 rpm).
3. Tidak Terdapat interaksi yang signifikan antara penggunaan jenis bahan bakar dengan perubahan putaran mesin berkaitan dengan opasitas gas buang.

Saran

Beberapa saran dalam penelitian ini diperuntukkan bagi kalangan akademik atau peneliti dan bagi kalangan otomotif.

1. Bagi masyarakat umum
 - a. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam memilih jenis bahan bakar mesin diesel agar dapat meminimalisir opasitas gas buang.
 - b. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi mengenai perbandingan perubahan putaran mesin terhadap opasitas gas buang.
2. Bagi akademisi/peneliti selanjutnya
 - a. Penelitian perubahan putaran mesin hendaknya tidak hanya tertuju pada opasitas gas buang saja tetapi juga meneliti emisi gas buang mesin diesel.
 - b. Penelitian pengaruh jenis bahan bakar mesin diesel commonrail hendaknya lebih memperhatikan faktor – faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil penelitian seperti waktu penelitian, dan pemilihan objek penelitian.
3. Bagi dunia industri hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai pedoman pemilihan jenis bahan bakar mesin diesel commonrail khususnya bagi industri yang bergerak di bidang transportasi untuk mengurangi pencemaran udara sesuai dengan standar yang ditetapkan pemerintah

DAFTAR RUJUKAN

- Havendri, Adly. 2008 Kaji Eksperimental Prestasi dan Emisi Gas Buang Motor Bakar Diesel Menggunakan Variasi Campuran Bahan Bakar Biodiesel Minyak Jarak (*Jatropha Curcas L*) Dengan Solar. Padang. Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas. Vol. 1, No. 29.
- Nasution, dkk. 2010. Proses Pembuatan Bahan Bakar Bensin dan Solar Ramah Lingkungan. Jakarta. Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, LEMIGAS.

- Rahayu, Martini. (tanpa tahun). Teknologi Proses Produksi Biodiesel, Prospek Pengembangan Bio-fuel sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak. Surabaya. ITS.
- Santoso, B. 2006. Studi Banding Bahan Bakar Premium Dari Beberapa SPBU Di Surabaya Dan Pengaruhnya Terhadap Gas Buang. Skripsi diterbitkan. Universitas Kristen Petra. (Online). (digilib.petra.ac.id/jiunkpe/s1/mesn/2006/jiunkpe-ns-s1-2006-24401096-6237-premium), diakses tanggal 20 Februari 2013.
- Setiawan, Y., dkk. 2013. Analisis Perbandingan Emisi Gas Buang Mesin Diesel Menggunakan Bahan Bakar Solar dan CNC Berbasis pada Simulasi. Surabaya. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Vol. 1, No. 1, (2013) 1-5.
- Sukoco., Arifin., Z. 2008. Teknologi Motor Diesel. Bandung. Alfabeta.
- Sumarsono, Markus. 2008. Analisis Pengaruh Campuran Bahan Bakar Solar-Minyak Jarak Pagar Pada Kinerja Motor Diesel dan Emisi Gas Buang. Jakarta. Balai Besar Teknologi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Vol. 9, No. 2, Hal. 141-148.
- Widianto, A., Muhaji. 2014. Uji Kemampuan Campuran Bahan Bakar Solar-Biodiesel dari Minyak Biji Jarak terhadap Unjuk Kerja dan Opasitas Mesin Diesel 4 Langkah. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Surabaya. Vol. 02, No. 03, 38-46

