

Pengaruh Variasi Jenis Aktivator Asam dan Nilai Normalitas Pada Aktivasi Zeolit Pelet Perekat Terhadap Prestasi Mesin Motor Diesel 4-Langkah

Herry Wardono dan Chandra Winata P.

Jurusan Teknik Mesin - Universitas Lampung, Bandarlampung 35145

Email: herry@unila.ac.id

Abstract

The energy crisis and air pollution can be coped with using very abundant Natural Zeolites available in Indonesia, particularly in Lampung. Herry Wardono has applied the zeolite on petrol and diesel engines. In this applications, Lampung's natural zeolites can significantly save fuel consumption and reduce exhaust emissions of the engines. The best results occurred in the use of chemical-physical activated zeolite. All this time, chemical activator (acidic activator) used was H_2SO_4 0.2 N, and other normalities of this acid have not been tested, as well as other types of acidic activator. In this research, acidic activators used were H_2SO_4 and HCl which has a normality of 0.1 N, 0.2 N, 0.3 N and 0.5 N each. The amount of adhesive pelletized zeolite used was also varied, i.e 50, 100, and 150 grams. The results showed that the adhesive pelletized zeolite activated by HCl dominate the best results, with fuel consumption savings of 8.6472% and 10.3058% in the use of 100 and 150 grams of the zeolite. Meanwhile, the highest fuel consumption savings obtained in the use of adhesive pelletized zeolite activated by H_2SO_4 were 6.2992% and 7.8847%.

Keywords: zeolit pelet perekat, oxygen- rich combustion, prestasi mesin diesel.

PENDAHULUAN

Isu krisis energi dan Polusi udara oleh motor bakar (kendaraan bermotor dan Mesin Industri) merupakan permasalahan besar yang harus segera dicarikan solusinya. World Bank juga menempatkan Jakarta menjadi salah satu kota dengan kadar polutan/partikulat tertinggi setelah Beijing, New Delhi dan Mexico City. Sumber utama polusi udara lingkungan adalah berasal dari transportasi (kendaraan bermotor) yaitu sekitar 70% [1].

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan Herry Wardono (2004, 2005, 2007, 2009, dan 2010) diperoleh zeolit granular dan zeolit pelet mampu menghemat konsumsi bahan bakar dan mereduksi emisi gas buang cukup signifikan. Pemanfaatan zeolit alam Lampung untuk menyaring udara pembakaran pada motor bensin 4-langkah telah dilakukan (percobaan laboratorium, sepeda motor dan mobil karburator di jalan raya). Hasil yang diperoleh bervariasi, tergantung jenis zeolit yang digunakan. Daya engkol mampu ditingkatkan sebesar 0,182 kW (5,68%) menggunakan zeolit alam murni, sedangkan menggunakan

zeolit teraktivasi H_2SO_4 sebesar 0,192 kW (5,81%), secara berturut-turut. Di samping itu, konsumsi bahan bakar juga dapat dihemat sebesar 0,016 kg/kWh (8,03%), 0,023 kg/kWh (11,19%) menggunakan zeolit alam murni, dan teraktivasi H_2SO_4 , secara berturut-turut. Pengujian menggunakan sepeda motor mampu menghemat bensin hingga 17%. Hasil yang lebih baik dicapai pada uji prestasi mobil karburator 1500 cc, yaitu konsumsi bensin mampu dihemat sebesar 29,35 ml (12,67 %), dan 61,66 ml (23,87 %) menggunakan zeolit alam murni, dan asam-fisik, secara berturut-turut. Hasil yang menggembirakan ini masih sangat perlu didukung oleh data pengujian lainnya. Hal ini karena belum ditemui data pengujian mengenai aktivasi kimia optimal terhadap zeolit pelet untuk penyaringan udara pembakaran (mengadsorb nitrogen dan uap air). Data yang ada hanya aktivasi zeolit alam untuk dehumidifikasi, pertukaran kation, menyerap logam-logam berat, jadi tidak terfokus untuk menyerap nitrogen dan uap air. Penelitian yang pernah dilakukan Herry Wardono hanya menggunakan aktivator H_2SO_4 0,2N dan NaOH 0,5N (belum pernah diujikan

dengan normalitas lainnya), dan masih ada beberapa *chemical activators* yang belum diujikan (HCl, dan KOH) [7]. Semakin tinggi nilai normalitas asam yang digunakan, maka semakin bertambah luas spesifik pori-pori zeolit (menambah kuat daya adsorb zeolit). Akan tetapi, jika nilai normalitas terlalu tinggi, maka akan dapat merusak struktur kerangka zeolit (Khairinal, 2000 dalam [8]). Sehingga untuk meningkatkan nilai ekonomis dari zeolit alam Lampung ini, penelitian menggunakan aktivator asam lainnya dengan berbagai nilai normalitas dilakukan, untuk mendapatkan kondisi optimum.

METODE PENELITIAN

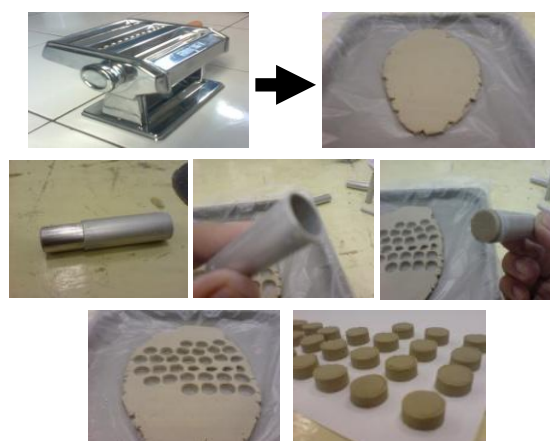
Persiapan Zeolit Aktivasi Asam-Fisik

Asam yang digunakan dalam penelitian ini adalah H_2SO_4 dan HCl yang memiliki konsentrasi kelarutan (normalitas) 0,1N; 0,2N; 0,3N dan 0,5N. Pertama-tama Zeolit diaktivasi menggunakan larutan asam H_2SO_4 0,1N dengan rasio zeolit-larutan H_2SO_4 adalah 1 : 7 (1 gram zeolit dan 7 ml H_2SO_4). Dalam proses ini zeolit dan larutan kimia dicampur yang kemudian diaduk dengan *mixer* selama 0,75 jam agar pencampuran keduanya merata. Zeolit alam yang telah selesai diaktivasi ini dicuci terlebih dahulu dengan tujuan untuk menetralkan kembali yaitu dengan menggunakan air mineral (hingga pH air cucian = 7, diukur dengan pH meter). Setelah itu, zeolit-zeolit tersebut dikeringkan menggunakan panas matahari selama 3 jam atau dipanaskan di dalam oven pada 110 °C selama 1 jam.

Zeolit yang telah teraktivasi H_2SO_4 kemudian digiling sehingga menjadi bentuk serbuk. Zeolit yang telah berbentuk serbuk tadi kemudian diayak, sehingga ukurannya menjadi 100 mesh. Untuk pencetakan zeolit menjadi pelet, alat-alat utama yang digunakan yang digunakan disini adalah kompor gas, wadah (panci), ampia, alat cetak, dan oven (lihat Gambar 1).

Pertama-tama tepung tapioka (6%) dan air mineral dicampur di dalam suatu wadah lalu dipanaskan di atas kompor dengan nyala api kecil hingga campuran tersebut terlihat mengental dan mengembang, kemudian

mencampurkannya dengan tepung zeolit sedikit demi sedikit sesuai komposisi yang diinginkan. Campuran tersebut diaduk dengan sendok dan dicampur dengan tangan hingga merata. Selanjutnya campuran tersebut digiling menggunakan ampia hingga permukaannya rata (memiliki tebal 3 mm), lalu dicetak hingga dihasilkan tablet zeolit dengan tebal 3 mm dan diameter 10 mm (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Proses pembuatan Adonan Zeolit pelet perekat dan tablet

Tablet zeolit yang telah selesai dicetak kemudian diaktivasi fisik dengan pemanasan pada temperatur yaitu: 200°C selama 2 jam pada oven pemanas. Setelah dua jam berlalu, oven dibuka kembali, tablet zeolit yang telah dipanaskan, dikeluarkan, yang kemudian diletakkan di temperatur ruangan (pendinginan secara alami). Tablet zeolit yang sudah dingin dimasukkan ke dalam stoples (container) agar tidak terkontaminasi dengan udara luar (lihat Gambar 2), selanjutnya zeolit tablet tersebut dimasukkan ke dalam kemasannya (lihat Gambar 3), dan siap digunakan untuk pengujian.

Zeolit pelet perekat aktivasi H_2SO_4 0,1N-Fisik telah selesai dibuat. Selanjutnya dibuat zeolit aktivasi asam-fisik lainnya. Dengan langkah-langkah yang sama seperti pada pembuatan zeolit pelet perekat aktivasi H_2SO_4 0,1N -Fisik, aktivatornya diganti dengan H_2SO_4 0,2N; 0,3N; dan 0,5N, juga HCl 0,1N; 0,2N; 0,3N; dan 0,5N.



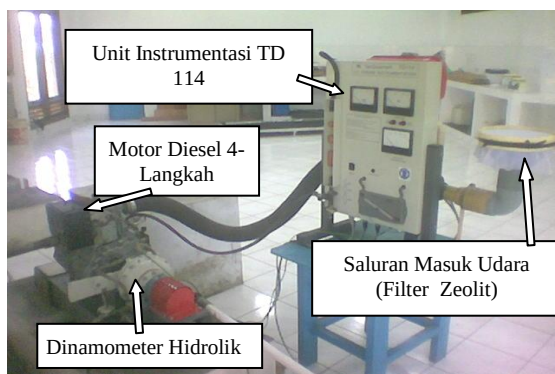
Gambar 2. Zeolit pelet perekat sebelum dan setelah diaktivasi fisik



Gambar 3. Zeolit pelet dalam Kemasannya dan yang terpasang

Prosedur Pengujian

Pengujian prestasi mesin untuk semua zeolit pelet dalam penelitian ini menggunakan mesin diesel 4-langkah, satu silinder yang ada di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Adapun rangkain instalasi peralatan dan instrumentasi pengujian yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Instalasi Pengujian Menggunakan Filter Zeolit di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung

Torsimeter TD 114 dikalibrasi terlebih dahulu. Setelah proses kalibrasi torsimeter selesai, mesin dihidupkan selama kurang lebih 15 menit untuk proses pemanasan mesin hingga keadaan stabil.

Pengambilan data dilakukan dengan empat variasi putaran mesin yaitu 1500, 2000, 2500, dan 3000 rpm. Zeolit yang digunakan adalah yang telah diaktivasi H_2SO_4 -Fisik dan

HCl-Fisik dengan variasi nilai normalitas 0,1N, 0,2N, 0,3N, dan 0,5N, dan variasi massa zeolit pelet 50, 100, dan 150 gram. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak dua tahap dalam putaran yang sama, tahap pertama merupakan pengambilan data tanpa menggunakan zeolit, tahap kedua adalah pengambilan data menggunakan 100 gram zeolit pelet perekat aktivasi H_2SO_4 untuk semua variasi nilai normalitas. Pengambilan data dilakukan untuk setiap putaran mesin. Dalam hal ini zeolit diletakkan di wadah penampungan (kawat parabola) sebelum saluran udara masuk sehingga udara yang masuk ke ruang bakar melewati zeolit dan mengalami proses adsorpsi yang dilakukan oleh zeolit, setelah torsi stabil dan putaran mesin stabil maka data diambil (lihat Gambar 4). Setelah pengujian menggunakan zeolit perekat aktivasi H_2SO_4 selesai, pengujian dilanjutkan menggunakan zeolit pelet perekat aktivasi HCl untuk semua variasi nilai normalitas. Setelah diperoleh normalitas terbaik, maka pengujian berikutnya dilakukan menggunakan zeolit pelet perekat aktivasi H_2SO_4 0,3N-Fisik untuk variasi massa 50, 100, dan 150 gram.

Sebagai contoh, pengambilan data zeolit pelet aktivasi H_2SO_4 0,1N-Fisik pada putaran 1500 rpm. Setelah mesin dipanaskan selama 15 menit, dan tunggu sampai torsi dan putaran stabil, pertama data yang diambil adalah data kosong (tanpa zeolit), kemudian diletakkan zeolit pelet aktivasi H_2SO_4 0,1N-Fisik dengan berat 100 gram di filter udara, setelah torsi dan putaran stabil, baru data diambil. Selanjutnya dimasukkan zeolit konsentrasi kelarutan lain (H_2SO_4 0,2N-Fisik, 0,3N, dan 0,5N seperti telah dijelaskan di atas), yaitu dengan berat 100 gram. Semua data dicatat, pengujian dilanjutkan dengan putaran mesin lainnya, yaitu 2000, 2500, dan 3000 rpm.

Semua data pengujian yang diperoleh, selanjutnya dianalisa menggunakan persamaan (1) dan (2) untuk mendapatkan daya engkol dan konsumsi bahan bakar spesifik yang terjadi. Hasil analisa data ditampilkan dalam bentuk grafik dan Tabel untuk memudahkan perbandingan hasil dan pembahasan.

Prestasi mesin pada motor diesel 4-langkah dapat dianalisa dengan mengetahui dua parameter saja, yaitu daya engkol (bP), dan

konsumsi bahan bakar spesifik engkol (bsfc). Besarnya daya engkol dihitung dengan persamaan [7]:

$$bP = 2\pi N T_{AP} / 60000 \text{ dalam kW} \quad (1)$$

N: Putaran mesin, rpm
 T_{AP} : Torsi, Nm.

Sedangkan konsumsi bahan bakar spesifiknya dihitung dengan persamaan [7]:

$$bsfc = m_f / bP \text{ dalam kg/kWh} \quad (2)$$

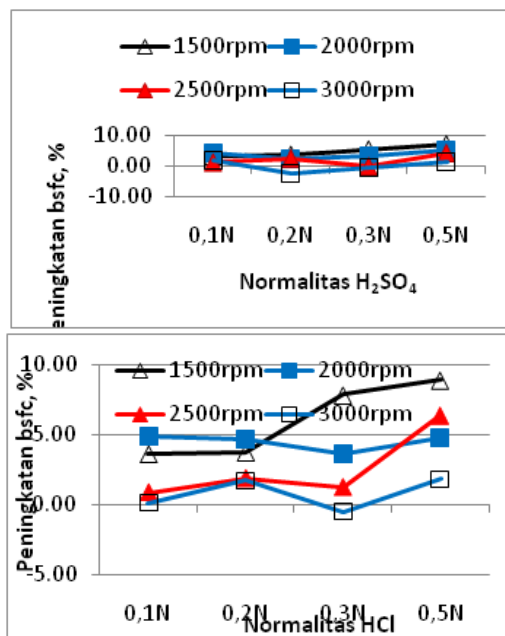
m_f : Laju konsumsi bahan bakar, kg/det.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 5, 6, dan 7.

Pengaruh variasi normalitas terhadap konsumsi bahan bakar spesifik engkol (bsfc)

Pada uji variasi nilai normalitas ini, massa zeolit pelet perekat yang digunakan adalah 100 gr. Hasil peningkatan penghematan konsumsi bahan bakar spesifik yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh variasi normalitas H₂SO₄ dan HCl terhadap peningkatan penghematan bsfc

Secara umum dapat dilihat pada gambar 5 bahwa konsumsi bahan bakar mampu dihemat pada pemanfaatan semua zeolit pelet perekat teraktivasi H₂SO₄ untuk semua variasi normalitas. Hasil terbaik terjadi pada pemanfaatan zeolit pelet perekat teraktivasi H₂SO₄ untuk konsentrasi larutan 0,3N dan 0,5N. Peningkatan penghematan konsumsi bahan bakar juga dipengaruhi oleh kondisi operasi putaran mesin, dimana nilai yang cukup signifikan terjadi pada operasi putaran mesin rendah, yaitu 1500 dan 2000 rpm, sebagaimana terlihat pada gambar 5. Hal ini dapat terjadi karena pada operasi putaran rendah, peletakan zeolit pelet perekat ini pada saringan udara motor diesel 4-langkah tidak mempengaruhi laju alir udara pembakaran yang masuk ke dalam ruang bakar, sehingga penyerapan (adsorpsi) uap air dan nitrogen yang terdapat di dalam udara pembakaran oleh zeolit pelet perekat ini dapat berjalan dengan baik. Akibatnya udara pembakaran yang masuk ke dalam ruang bakar memiliki kandungan (persentase) oksigen yang lebih tinggi (oxygen- rich mixture), dibanding operasi mesin tanpa menggunakan zeolit pelet perekat. Sebaliknya, pada operasi putaran tinggi, laju udara pembakaran yang masuk ke ruang bakar juga tinggi, dan dengan adanya zeolit pelet perekat pada saringan udara, dapat menghambat laju udara pembakaran tersebut. Jadi, sekalipun proses adsorpsi uap air dan nitrogen terjadi, namun jumlah udara pembakaran yang masuk ke ruang bakar juga mengalami penurunan. Akibatnya, proses pembakaran tidak berlangsung dengan baik. Jadi, dari gambar 5 dapat dijelaskan bahwa hasil terbaik terjadi pada operasi mesin 1500 rpm.

Peningkatan nilai normalitas aktivator H₂SO₄ pada proses aktivasi kimia-fisik mampu memberikan penghematan konsumsi bahan bakar motor diesel 4-langkah ini yang lebih tinggi. Peningkatan nilai normalitas aktivator H₂SO₄ sebesar 0,1N pertama (dari 0,1N menjadi 0,2N) memberikan peningkatan penghematan konsumsi bahan bakar (penghematan dari 3,1642% menjadi 3,6240%) yang lebih kecil bila dibandingkan dengan peningkatan nilai normalitas 0,1N kedua (dari 0,2N menjadi 0,3N), dari 3,6240% menjadi 5,3503%. Sementara itu, peningkatan nilai

normalitas aktivator H_2SO_4 sebesar 0,2N berikutnya (dari 0,3N menjadi 0,5N) hanya memberikan penghematan yang sama dengan hasil yang terjadi pada peningkatan nilai normalitas dari 0,2N menjadi 0,3N, yaitu penghematan dari 5,3503% menjadi 7,0633%.

Di sisi lain, pemanfaatan aktivator HCl dengan variasi nilai normalitas juga memberikan penghematan yang tidak jauh berbeda bila dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada pemanfaatan aktivator H_2SO_4 . Pada pemanfaatan aktivator HCl ini, penghematan konsumsi bahan bakar tertinggi juga diperoleh pada operasi mesin putaran rendah 1500 dan 2000 rpm. Hasil yang terjadi pada operasi mesin 1500 rpm juga lebih baik bila dibandingkan dengan hasil yang terjadi pada operasi putaran mesin 2000 rpm. Selain itu, peningkatan nilai konsentrasi larutan 0,1N kedua (penghematan dari 3,7245% menjadi 7,8114%) juga mampu memberikan penghematan konsumsi bahan bakar lebih tinggi dari pada hasil yang diperoleh pada peningkatan nilai normalitas 0,1N pertama (penghematan dari 3,6081% menjadi 3,7245%). Sedangkan peningkatan nilai normalitas 0,2N berikutnya hanya mampu menghemat konsumsi bahan bakar sebesar 8,87644%.

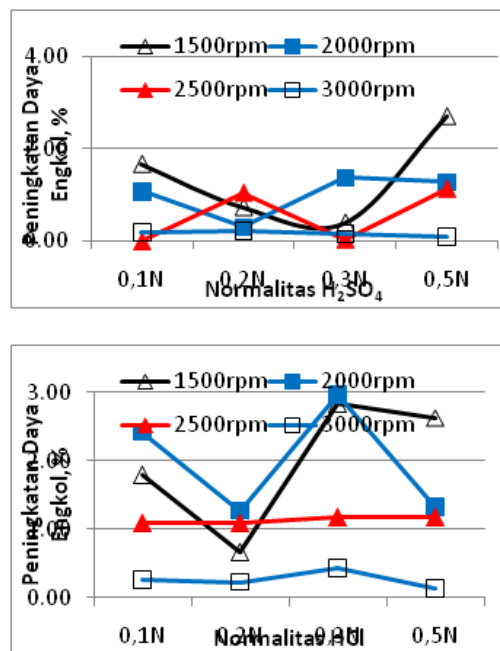
Dari hasil di atas dapat dikatakan bahwa hasil yang terjadi pada pemanfaatan aktivator H_2SO_4 dan HCl dengan variasi nilai konsentrasi larutan, mampu memberikan penghematan konsumsi bahan bakar dengan kecenderungan yang sama. Akan tetapi, bila diteliti lebih dalam, penghematan konsumsi bahan bakar lebih tinggi terjadi pada pemanfaatan aktivator HCl.

Pengaruh variasi normalitas terhadap daya engkol (bP)

Pada uji variasi nilai normalitas ini, massa zeolit pelet perekat yang digunakan juga sebanyak 100 gr. Hasil peningkatan daya engkol yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 6.

Berbeda halnya dengan hasil yang diperoleh pada uji konsumsi bahan bakar, peningkatan nilai normalitas aktivator H_2SO_4 yang lebih tinggi tidak selalu memberikan peningkatan daya engkol yang lebih tinggi

pada pemanfaatan zeolit pelet perekat yang diaktivasi dengan aktivator H_2SO_4 (lihat gambar 6). Dengan kata lain, semakin tinggi nilai konsentrasi larutan dari aktivator H_2SO_4 yang digunakan tidak selalu menjamin mampu memberikan peningkatan daya engkol dari motor diesel 4-langkah. Walaupun peningkatan daya engkol tertinggi (2,6946%) terjadi pada pemanfaatan zeolit pelet perekat teraktivasi H_2SO_4 dengan nilai normalitas paling tinggi (0,5N), namun pemanfaatan aktivator H_2SO_4 0,3N tidak selalu memberikan peningkatan daya engkol yang lebih baik dibanding aktivator H_2SO_4 0,1N dan aktivator H_2SO_4 0,2N.



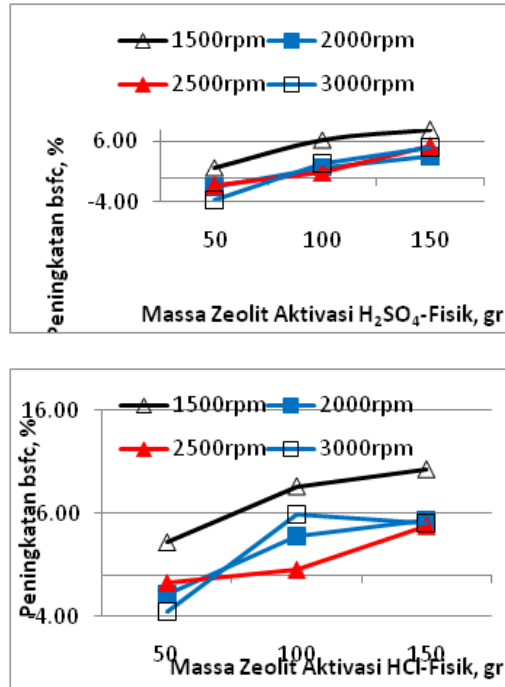
Gambar 6. Pengaruh variasi normalitas H_2SO_4 dan HCl terhadap peningkatan daya engkol

Di sisi lain, peningkatan daya engkol yang terjadi pada pemanfaatan aktivator HCl justru diperoleh pada aktivator HCl 0,3N (terjadi pada operasi mesin putaran rendah 2000 dan 1500 rpm), yaitu sebesar 2,9497% dan 2,8356%, disusul aktivator HCl 0,5N (peningkatan sebesar 1,3244% dan 2,6298%). Sedangkan pada pemanfaatan aktivator HCl 0,1N yang dioperasikan pada putaran mesin 2000 dan 1500 rpm, peningkatan daya engkol yang terjadi sebesar 2,4173% dan 1,7956%.

Pada pemanfaatan aktivator H_2SO_4 , peningkatan daya engkol terendah, yaitu sebesar 1,2716% dan 0,6640%. Dari hasil yang telah dijelaskan di atas dapat dikatakan bahwa peningkatan daya engkol yang lebih tinggi juga terjadi pada pemanfaatan aktivator HCl dibanding pemanfaatan aktivator H_2SO_4 , meskipun perbedaan hasil yang terjadi tidak signifikan.

Pengaruh variasi massa zeolit pelet perekat terhadap konsumsi bahan bakar spesifik engkol

Dari hasil yang diperoleh pada uji variasi nilai normalitas terlihat bahwa zeolit pelet perekat aktivasi H_2SO_4 dan aktivasi HCl dengan normalitas 0,3N mampu memberikan penghematan konsumsi bahan bakar paling baik. Dengan demikian, pada uji variasi massa zeolit pelet perekat digunakan aktivator H_2SO_4 dan HCl yang memiliki nilai normalitas 0,3N. Hasil peningkatan penghematan konsumsi bahan bakar spesifik yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh variasi massa zeolit pelet perekat terhadap peningkatan penghematan bsfc

Secara umum terlihat pada gambar 7 peningkatan penghematan konsumsi bahan bakar semakin tinggi dengan semakin meningkatnya massa zeolit pelet perekat teraktivasi H_2SO_4 0,3N yang digunakan. Hal ini dapat dijelaskan karena semakin banyak zeolit pelet perekat yang digunakan, maka semakin besar luas permukaan kontak zeolit pelet dengan udara pembakaran. Dengan demikian, semakin besar pula uap air dan gas nitrogen yang mampu ditangkap oleh zeolit pelet. Akibatnya udara pembakaran yang masuk ke dalam ruang bakar semakin kaya oksigen. Hal ini dapat menyebabkan proses pembakaran berjalan secara lebih baik. Penghematan konsumsi bahan bakar yang terjadi pada pemanfaatan 50 gr zeolit pelet perekat teraktivasi H_2SO_4 0,3N sangat kecil (di bawah 2%). Sedangkan pada pemanfaatan 100 gr zeolit pelet perekat mampu menghemat konsumsi bahan bakar hingga 6,2992% (pada operasi putaran mesin 1500 rpm), dengan peningkatan penghematan konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 2,7938%. Hasil yang lebih baik lagi terjadi pada pemanfaatan zeolit pelet perekat massa maksimum (150 gr), dimana penghematan konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 5,4597%. Sementara itu, penghematan konsumsi bahan bakar tertinggi juga terjadi pada putaran rendah 1500 rpm, yaitu sebesar 7,8847%.

Sebagaimana halnya pada uji variasi normalitas, zeolit pelet perekat teraktivasi HCl 0,3N juga mendominasi penghematan konsumsi bahan bakar pada uji variasi massa zeolit pelet perekat ini dibanding zeolit pelet perekat teraktivasi H_2SO_4 0,3N. Penghematan konsumsi bahan bakar yang terjadi pada pemanfaatan 50 gr zeolit pelet perekat teraktivasi HCl 0,3N tidak melebihi 3,2%. Sementara itu, rata-rata penghematan konsumsi bahan bakar yang terjadi sebesar 4,7001% pada pemanfaatan 100 gr zeolit pelet perekat ini, dan penghematan konsumsi bahan bakar tertinggi diperoleh sebesar 8,6472% (pada operasi putaran mesin 1500 rpm). Hasil yang lebih baik lagi juga terjadi pada pemanfaatan zeolit pelet perekat massa maksimum (150 gr), dimana penghematan konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 6,3738%. Sedangkan penghematan konsumsi bahan bakar tertingginya diperoleh sebesar 10,3058%, yang

juga terjadi pada putaran rendah 1500 rpm.

SIMPULAN

Pemanfaatan zeolit pelet perekat teraktivasi H_2SO_4 -fisik dan teraktivasi HCl-fisik telah berhasil menghemat konsumsi bahan bakar motor diesel 4-langkah. Zeolit pelet perekat teraktivasi HCl mampu menghemat konsumsi bahan bakar dan meningkatkan daya engkol lebih tinggi dibanding zeolit pelet perekat teraktivasi H_2SO_4 -fisik. Semakin tinggi nilai normalitas aktivator H_2SO_4 dan HCl yang digunakan, maka semakin tinggi penghematan konsumsi bahan bakar yang terjadi. Perbedaan hasil yang lebih tinggi justru terjadi pada peningkatan nilai normalitas dari 0,2N ke 0,3N dari pada hasil yang diperoleh pada peningkatan nilai normalitas dari 0,3N ke 0,5N. Demikian pula halnya dengan massa zeolit pelet perekat yang digunakan, semakin besar massa zeolit pelet perekat yang digunakan, maka semakin tinggi pula konsumsi bahan bakar yang mampu dihemat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pantonanews.com, 2011, "Mengelola Polusi Udara". <http://www.pantonanews.com/869-mengelola-polusi-udara>, diakses 27 Januari 2012.
- [2] Herry Wardono dan Simparmin br Ginting, 2004, "Pemanfaatan Zeolit Alam Lampung dalam meningkatkan Performan Motor Diesel 4-Langkah", Laporan Penelitian Dosen Muda.
- [3] Herry Wardono, 2005, "Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Dalam Meningkatkan Kinerja Motor Bensin 4-Langkah", Prosiding Hasil-Hasil Penelitian Dosen Universitas Lampung.
- [4] Herry Wardono dan Simparmin br Ginting, 2007, "Pemanfaatan Zeolit Alam Lampung Sebagai Adsorben Udara Pembakaran Ramah Lingkungan Untuk meningkatkan Prestasi Kendaraan Bermotor Bensin 4-Langkah". Laporan Penelitian Hibah Bersaing.
- [5] Herry Wardono, Simparmin br Ginting, dan Harnowo Supriadi, 2009, "Pengembangan Filter Udara Alternatif Hemat Bahan Bakar Dari Zeolit Asal Lampung Untuk Aplikasi Mesin Skala Besar Dan Industri". Laporan Penelitian Hibah Kebijakan Strategis Tahun Ke-1.
- [6] Herry Wardono, Simparmin br Ginting, dan Harnowo Supriadi, 2010, "Pengembangan Filter Udara Alternatif Hemat Bahan Bakar Dari Zeolit Asal Lampung Untuk Aplikasi Mesin Skala Besar Dan Industri". Laporan Penelitian Hibah Kebijakan Strategis Tahun Ke-2.
- [7] Suyartono dan Husaini, 1991, "Tinjauan Terhadap Kegiatan Penelitian Karakterisasi dan Pemanfaatan Zeolit Indonesia Yang Dilakukan PPTM Bandung Periode 1990-1991", Buletin PPTM, Bandung.
- [8] Dwita Srihapsari, 2006, "Penggunaan Zeolit Alam Yang Telah Diaktivasi Dengan Larutan HCl Untuk Menyerap Logam-Logam Penyebab Kesadahan Air", Tugas Akhir II, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- [9] Ganesan V., 1996, "Internal Combustion Engines", McGraw Hill, USA.