

**PENENTUAN KOMPOSISI ZEOLIT DAN GYPSUM UNTUK
MENGHASILKAN *FILTER* KNALPOT KENDARAAN
DENGAN PERMEABILITAS DAN KEKUATAN OPTIMUM**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : MUKTI CAHYONO

No. Mahasiswa : 00 525 098

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2011

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENENTUAN KOMPOSISI ZEOLIT DAN GYPSUM UNTUK
MENGHASILKAN *FILTER* KNALPOT KENDARAAN
DENGAN PERMEABILITAS DAN KEKUATAN OPTIMUM**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Mukti Cahyono

No. Mahasiswa : 00 525 098

Yogyakarta, _____ 2011

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Muhammad Ridlwan, ST., MT.

Arif Hidayat, ST., MT

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENENTUAN KOMPOSISI ZEOLIT DAN GYPSUM UNTUK
MENGHASILKAN FILTER KNALPOT KENDARAAN
DENGAN PERMEABILITAS DAN KEKUATAN OPTIMUM

TUGAS AKHIR



Disusun Oleh :

Nama : Mukti Cahyono

No. Mahasiswa : 00 525 098

Yogyakarta, _____ 2011

Pembimbing I,

Muhammad Ridwan, ST., MT.

Pembimbing II,

Arif Hidayat, ST., MT.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENENTUAN KOMPOSISI ZEOLIT DAN GYPSUM UNTUK MENGHASILKAN FILTER KNALPOT KENDARAAN DENGAN PERMEABILITAS DAN KEKUATAN OPTIMUM

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Mukti Cahyono

No. Mahasiswa : 00 525 098

Tim Penguji

Muhammad Ridlwan, ST., MT.

Ketua

Tanggal : 01/06/2011

Vendy Antono, ST., MT.

Anggota I

Tanggal : 01/06/2011

Yustiasih Purwaningrum, ST., MT.

Anggota II

Tanggal: 1/6 11

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

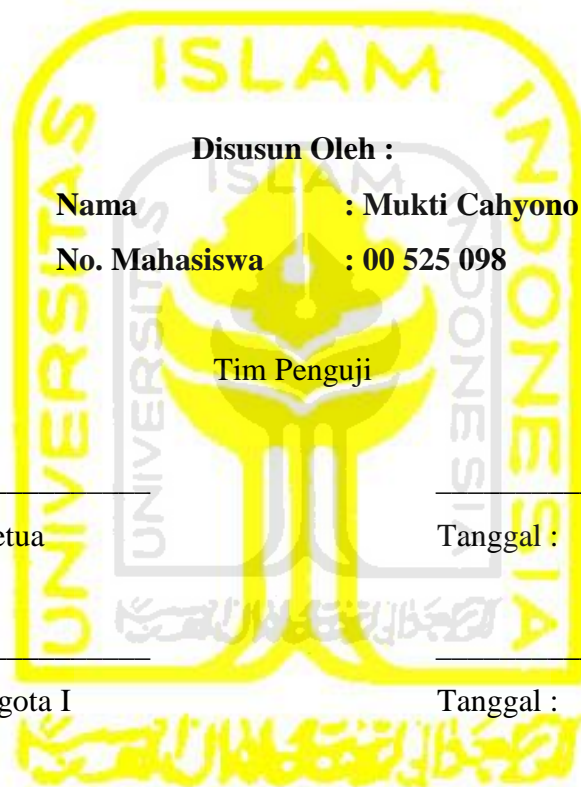


Agung Nugroho Adi, ST., MT.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PENENTUAN KOMPOSISI ZEOLIT DAN GYPSUM UNTUK
MENGHASILKAN *FILTER* KNALPOT KENDARAAN
DENGAN PERMEABILITAS DAN KEKUATAN OPTIMUM**

TUGAS AKHIR



Disusun Oleh :

Nama : Mukti Cahyono

No. Mahasiswa : 00 525 098

Tim Penguji

Ketua

Tanggal :

Anggota I

Tanggal :

Anggota II

Tanggal :

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Agung Nugroho Adi, ST., MT.

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan karya kecilku ini untuk:
Ayahku yang telah tiada dan Ibuiku tercinta,
yang telah dengan sabar, perhatian dan penuh kasih sayang membimbing dan membesarkanku
selama ini.*

*Kakak-kakakku dan adik-adikku –keluarga besar Bp. H. Abdul Khoji (alm.)– tercinta
yang telah banyak memberi Semangat dan dukungan,
serta Temanku yang telah menjadi sumber inspirasi dalam hidupku,
Dan untuk Almamaterku, Terima kasih telah menghantarkanku ke masa depan.*



HALAMAN MOTTO

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا اتَّقُوا اللَّهَ وَابْتَغُوا إِلَيْهِ الْوَسِيلَةَ
أَهْدُوا فِي سَبِيلِهِ لَعَلَّكُمْ تُفْلِحُونَ وَجَدَ

Hai orang-orang yang beriman, bertakwalah kepada Allah dan carilah jalan yang mendekatkan diri kepada-Nya, dan berjihadlah pada jalan-Nya, supaya kamu mendapat keberuntungan. (QS. Al-Maaidah 35)



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allah SWT, hanya karena rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat serta salam kepada Rasulullah Muhammad SAW, Al Amin suri tauladan kita. Dengan segenap kerendahan hati dan rasa yang setulus-tulusnya, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Gumbolo Hadi Susanto, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Agung Nugroho Adi, ST., MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridlwan, ST., MT. dan Bapak Arif Hidayat, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam memberikan pengarahan dan bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
4. Bapak Vendy Antono, ST., MT. dan Ibu Yustiasih Purwaningrum, ST., MT. selaku dosen penguji skripsi yang berkenan memberikan saran dan perbaikan terhadap tugas akhir ini.
5. Para staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin, atas segala kesabaran dan pengertiannya dalam memberikan bantuan dan fasilitas demi kelancaran penyelesaian tugas akhir ini.
6. Orang tua dan saudara-saudaraku yang telah memberikan doa, kasih sayang dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin yang telah bersama-sama berjuang menyelesaikan studi Strata 1.
8. Seluruh pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas segala bimbingan, bantuan, kritik, dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa maupun siapa saja yang membutuhkannya. Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, dengan senang hati dan terbuka penulis menerima segala saran dan kritik yang membangun.

Yogyakarta, Mei 2011

Penulis,



ABSTRAK

PENENTUAN KOMPOSISI ZEOLIT DAN GYPSUM UNTUK MENGHASILKAN *FILTER* KNALPOT KENDARAAN DENGAN PERMEABILITAS DAN KEKUATAN OPTIMUM

Mukti Cahyono, NIM: 00525098

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Alternatif solusi untuk mengurangi emisi gas buang yaitu dengan menggunakan *filter*, dimana dalam penelitian ini *filter* yang digunakan yaitu mineral zeolit. Alasan penggunaan zeolit karena zeolit memiliki pori-pori yang berukuran molekuler yang dapat menyaring molekul dengan ukuran tertentu, sehingga mampu menguraikan dan mereduksi gas buang. Bahan perekat yang digunakan adalah gipsum. Tujuan penelitian ini untuk mencari komposisi zeolit dan gipsum yang optimal, yaitu dengan menguji kekuatan dan permeabilitas *filter*.

Tahapan dalam penelitian ini meliputi penentuan bahan *filter* dan komposisinya, pencetakan *filter*, pengeringan produk, uji kekuatan produk, uji permeabilitas, dan pemilihan komposisi optimal. Penentuan prosentase komposisi bahan dengan metode eksperimen. Diperoleh 4 komposisi yang dinilai tidak cacat, yaitu 90% zeolit 10% gipsum (A); 85% zeolit (B); 80% zeolit (C); dan 75% zeolit (D). Komposisi bahan tersebut selanjutnya dicetak dengan alat cetak yang dibuat berlubang untuk menghindari backflow, dipadatkan dengan mesin pres kemudian dikeringkan menggunakan oven vulcan 3-550. Kemudian dilakukan pengamatan visual dan diketahui komposisi yang baik dan tidak mudah rapuh yaitu komposisi B, C, dan D. Selanjutnya, dilakukan uji permeabilitas dengan Permeability Tester. Nilai permeabilitas rata-rata tertinggi yaitu sampel B sebesar 31. Nilai permeabilitas ini adalah nilai yang optimal karena merupakan nilai terbesar sehingga gas buang hasil proses pembakaran kendaraan yang umumnya panas dapat cepat dilepaskan dari knalpot. Sedangkan molekul emisi gas buang yang bersifat polutan dapat dikatalisasi oleh *filter* zeolit.

Hasil dari pemilihan komposisi optimal, yaitu komposisi terbaik dari semua sampel yang lolos penilaian visual (kuat dan tidak cacat) dan memiliki nilai permeabilitas terbaik yaitu sampel B (85% zeolit 15% gipsum).

Kata kunci: zeolit, gipsum, permeabilitas.

xiii + 35 halaman; 5 tabel; 14 gambar; 3 lampiran; daftar pustaka: 22 (1995-2010).

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto.....	v
Kata Pengantar	vi
Abstrak	viii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar.....	xii
Bab 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka.....	5
2.1 Polusi	5
2.1.1 Definisi Polusi Udara	5
2.1.2 Sumber Polusi Udara	5
2.1.3 Jenis-jenis Pencemar	6
2.1.4 Upaya Pengurangan Polusi Udara.....	7
2.2 Knalpot	7
2.2.1 Desain Sistem Pembuangan (Knalpot).....	7
2.2.2 Komponen Utama Sistem Pembuangan.....	8

2.3	Zeolit	9
2.3.1	Deskripsi Zeolit.....	9
2.3.2	Sifat Zeolit.....	11
2.3.3	Jenis Zeolit	14
2.4	Gypsum	15
2.5	Permeabilitas	18
Bab 3 Metodologi Penelitian.....		23
3.1	Penentuan Bahan <i>Filter</i>	24
3.2	Penentuan Komposisi Bahan.....	25
3.3	Pencetakan Produk	25
3.4	Pengeringan Produk	26
3.5	Uji Permeabilitas	26
3.6	Pemilihan Komposisi Optimal	26
Bab 4 Data Penelitian.....		28
4.1	Komposisi Bahan <i>Filter</i>	28
4.2	Proses Pencetakan Produk (<i>Filter</i>).....	29
4.3	Proses Pengeringan Produk (<i>Filter</i>).....	31
4.4	Pengujian Permeabilitas	32
Bab 5 Penutup		34
5.1	Analisis Hasil Cetakan <i>Filter</i>	34
5.2	Analisis Kekuatan <i>Filter</i>	34
5.3	Analisis Komposisi Bahan <i>Filter</i> Optimal	35
Bab 6 Penutup		37
6.1	Kesimpulan.....	37
6.2	Saran.....	37
Daftar Pustaka		38

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Perbedaan zeolit alam dan zeolit sintetik.....	15
Tabel 4-1 Komposisi bahan <i>filter</i> yang tidak cacat.....	28
Tabel 4-2 Pengamatan visual pada semua sampel komposisi material.....	32
Tabel 4-3 Hasil uji permeabilitas semua sampel komposisi material.....	33
Tabel 4-4 Nilai rata-rata sampel uji permeabilitas.....	33



DAFTAR GAMBAR

Tabel 2-1 Perbedaan zeolit alam dan zeolit sintetik.....	15
Tabel 4-1 Komposisi bahan <i>filter</i> yang tidak cacat.....	28
Tabel 4-2 Pengamatan visual pada semua sampel komposisi material.....	32
Tabel 4-3 Hasil uji permeabilitas semua sampel komposisi material.....	33
Tabel 4-4 Nilai rata-rata sampel uji permeabilitas.....	33



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan otomotif sebagai alat transportasi, baik di darat maupun di laut, sangat memudahkan manusia dalam melaksanakan suatu pekerjaan. Selain mempercepat dan mempermudah aktivitas, penggunaan kendaraan juga menimbulkan dampak yang sangat buruk terhadap lingkungan, terutama emisi gas buang dari hasil pembakaran bahan bakar yang tidak terurai atau terbakar dengan sempurna.

Penggunaan kendaraan di dalam kehidupan manusia tidak bisa dikurangi seiring dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah meningkatnya jumlah kendaraan namun tidak diikuti dengan upaya pelestarian lingkungan hidup, sehingga disini perlu dipertimbangkan dampak dari gas buang hasil proses pembakaran terhadap pencemaran udara dan lingkungan.

Alternatif solusi untuk mengurangi emisi gas buang yaitu dengan menggunakan *filter*, dimana dalam penelitian ini *filter* yang digunakan yaitu mineral zeolit. Zeolit sering disebut sebagai *molecular sieve* atau *molecular mesh* karena memiliki pori-pori yang berukuran molekuler yang dapat menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Dengan kata lain, zeolit dapat berfungsi sebagai katalis yang mampu menguraikan dan mereduksi gas buang.

Penggunaan zeolit sebagai *filter* harus dipadukan dengan logam aktif dan zat perekat yang dapat memperkuat *filter*. Akan tetapi perpaduan logam aktif tidak dibahas dalam penelitian ini. Sebagai *filter* kendaraan, zeolit harus memiliki kekuatan dan permeabilitas yang cukup, sehingga diperlukan adanya zat pengikat atau perekat karena zeolit murni ikatannya rapuh. Dalam penelitian ini, zat pengikat yang digunakan yaitu gipsum. Komposisi perpaduan zeolit dan gipsum harus ditentukan seoptimal mungkin. Apabila zat pengikat (gipsum) terlalu banyak maka kekuatan *filter* bagus akan tetapi permeabilitasnya kurang, begitu pula sebaliknya.

Berdasarkan penggambaran masalah yang telah diuraikan sebelumnya maka perlu dilakukan penelitian untuk mencari komposisi zeolit-gipsum yang optimal. Dengan penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan komposisi *filter* zeolit-gipsum yang siap dilapisi dengan logam aktif dan pada akhirnya dapat meminimalkan emisi gas buang kendaraan untuk peningkatan kualitas udara.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka perumusan yang diangkat dalam penelitian ini yaitu ”Bagaimana menentukan komposisi zeolit dan gipsum yang dapat menghasilkan *filter* knalpot mobil dengan permeabilitas dan kekuatan optimum”.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan di atas, maka tujuan penelitian ini yaitu mengembangkan knalpot ramah lingkungan dengan mencari komposisi dan geometri zeolit-gipsum yang dapat menghasilkan *filter* knalpot mobil dengan permeabilitas dan kekuatan optimum.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, yaitu:

1. Menghasilkan *filter* zeolit yang siap dilapisi dengan logam aktif.
2. Menghasilkan komposisi *filter* zeolit-gipsum yang dapat menyaring emisi gas buang.
3. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pembuatan *filter* zeolit.
4. Meminimalkan emisi gas buang kendaraan untuk peningkatan kualitas udara.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat terfokus pada masalah dan tujuan penelitian, maka penelitian perlu dibatasi. Batasan-batasan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Pembentukan cetakan zeolit dengan cara manual.
2. Pengujian yang dilakukan adalah uji permeabilitas.
3. Kekuatan *filter* dilihat berdasar kesempurnaan bentuk dan permukaan secara visual.
4. Perpaduan zeolit dengan logam aktif tidak dilakukan dalam penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian dalam laporan tugas akhir ini mengikuti uraian yang diberikan pada setiap bab yang berurutan untuk mempermudah pembahasannya. Dari pokok-pokok permasalahan dapat dibagi menjadi lima bab, yaitu:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan pendahuluan yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi mengenai landasan teori yang mendukung dan terkait langsung dengan penelitian yang akan dilakukan dari buku, jurnal penelitian, dan sumber literatur lain.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang uraian langkah-langkah penelitian yang dilakukan, selain juga merupakan gambaran kerangka berpikir penulis dalam melakukan penelitian dari awal sampai penelitian selesai.

BAB 4 : DATA PENELITIAN

Berisi tentang data-data yang telah diperoleh selama penelitian yang diperlukan untuk menganalisis permasalahan berdasarkan metodologi yang telah ditentukan.

BAB 5 : ANALISIS

Berisi tentang analisis dan interpretasi terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB 6 : KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab akhir yang berisikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta rekomendasi atau saran yang diberikan untuk perbaikan selanjutnya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polusi

Pencemaran bisa berarti berubahnya tatanan (komposisi) air atau udara oleh kegiatan manusia dan proses alam, sehingga kualitas air/ udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (SK Menteri Kependudukan Lingkungan Hidup No 02/MENKLH/1988).

2.1.1 Definisi Polusi Udara

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara Pasal 1, yang dimaksud dengan pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dari komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Sedangkan udara ambien adalah udara bebas dipermukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya.

2.1.2 Sumber Polusi Udara

Sumber pencemar adalah setiap usaha dan atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya (Peraturan Pemerintah No. 41, 1999). Menurut Sastrawijaya (1995), pencemar udara dibedakan menjadi dua yaitu, pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah substansi pencemar yang ditimbulkan langsung dari sumber pencemaran udara. Karbon monoksida (CO) adalah sebuah contoh dari pencemar udara primer karena ia merupakan hasil dari pembakaran. Pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer. Pembentukan ozon dalam *smog fotokimia* adalah sebuah contoh dari pencemaran udara sekunder.

2.1.3 Jenis-jenis Pencemar

Menurut Sastrawijaya (1995), jenis pencemar (polutan) dari gas buang yang sangat mengganggu kesehatan, yaitu:

1. Gas NO_x

Gas NO_x dapat menyebabkan sesak napas pada penderita asma, sering menimbulkan sukar tidur, batuk-batuk, dan dapat juga mengakibatkan kabut atau asap. NO_x adalah gas yang tidak berwarna tidak berbau, tidak memiliki rasa, dan dengan O₂ akan sangat mudah, cepat bereaksi dan berubah menjadi NO₂ karena bersenyawa dengan O₂. Gas NO₂ (nitrogen dioksida), dapat juga merusak jaringan paru-paru dan jika bersama H₂O akan membentuk *nitric acid* (HNO₃) yang pada gilirannya dapat menimbulkan hujan asam yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Gas NO_x terbentuk akibat temperatur yang tinggi dari suatu pembakaran.

2. Hidrokarbon (HC) merupakan gas yang tidak begitu merugikan manusia, akan tetapi merupakan penyebab terjadinya kabut campuran asap (*smog*). Pancaran hidrokarbon yang terdapat pada gas buang berbentuk *gasoline* yang tidak terbakar. Hidrokarbon terdapat pada proses penguapan bahan bakar pada tangki, karburator, serta kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dan torak yang masuk ke dalam poros engkol yang biasa disebut *blow by gases* (gas lalu).

3. Karbon monoksida (CO) merupakan gas yang cukup banyak terdapat di udara, dimana gas ini terbentuk akibat adanya suatu pembakaran yang tidak sempurna. Gas karbon monoksida mempunyai ciri yang tidak berbau, tidak terasa, serta tidak berwarna. Kendaraan bermotor memberi andil yang besar dalam peningkatan kadar CO yang membahayakan. Di dalam semua polutan udara maka CO adalah pencemar yang paling utama.

Nilai ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor terdapat pada lampiran.

2.1.4 Upaya Pengurangan Polusi Udara

Menurut Sastrawijaya (1995), beberapa upaya untuk mengurangi polusi udara sebagai berikut:

1. Mengembangkan substitusi bahan bakar dengan tujuan untuk mengurangi polutan (substitusi ini bisa berupa bahan bakar tanpa timbal ataupun gas).
2. Mengembangkan sumber tenaga alternatif yang rendah polusi (sumber tenaga bisa berupa tenaga listrik, tenaga surya, ataupun tenaga angin).
3. Memodifikasi mesin untuk mengurangi jumlah polutan yang terbentuk (modifikasi mesin bisa dilakukan baik dengan menggunakan *turbo cyclone*, memperbaiki sistem pencampuran bahan bakar, maupun dengan mengatur pendinginan di dalam ruang bakar).
4. Mengembangkan sistem pembuangan yang lebih sempurna.

2.2 Knalpot

Knalpot (*muffler*) yaitu bagian dari sistem pengeluaran atau pembuangan gas sisa pembakaran yang berfungsi untuk menyalurkan gas sisa ke udara luar sekaligus sebagai peredam suara akibat tekanan eksplosif pembakaran yang turut terbawa pada aliran gas buang (Teknik Dasar Motor Diesel, 2003).

2.2.1 Desain Sistem Pembuangan (Knalpot)

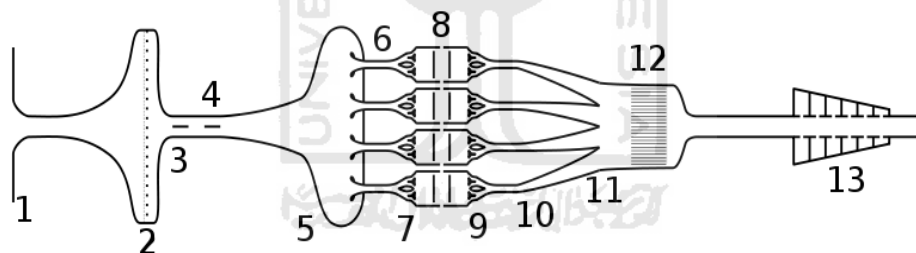
Desain saluran pembuangan dirancang untuk menyalurkan gas hasil pembakaran mesin ketempat yang aman bagi pengguna mesin. Gas hasil pembakaran umumnya panas, untuk itu saluran pembuangan harus tahan panas dan cepat melepaskan panas. Saluran pembuangan tidak boleh melewati atau berdekatan dengan material yang mudah terbakar atau mudah rusak karena panas. Meskipun tampak sederhana, desain sistem pembuangan cukup berpengaruh terhadap performa mesin.

2.2.2 Komponen Utama Sistem Pembuangan

Menurut Widiatoro (2011), pada umumnya komponen dalam sistem pembuangan terdiri dari:

1. Kepala silinder, dimana pipa pembuangan dimulai, kecuali pada mesin dua langkah dimana saluran pembuangan ditempatkan dibagian bawah dinding silinder.
2. *Exhaust manifold* atau *exhaust header*, dimana pipa dari beberapa ruang bakar atau silinder bergabung.
3. *Catalytic converter* untuk menurunkan kadar gas beracun, CO, HC dan NO_x
4. Knalpot, pipa untuk mengalirkan gas hasil pembakaran.
5. Peredam suara atau disebut juga *muffler*, yang berfungsi untuk meredam suara. Pada sepeda motor peredam bunyi ada di dalam knalpot sedangkan pada mobil umumnya terlihat dengan jelas berupa tabung sebelum ujung pipa pembuangan.

Skema sistem pembuangan (Widiatoro, 2011) ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2-1 Skema sistem pembuangan

Sumber: Widiatoro (2011)

Keterangan :

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 : <i>Ram air</i> | 8 : <i>Piston</i> (ruang <i>baker</i>) |
| 2 : <i>Air filter</i> | 9 : <i>Exhaust valve</i> (katup buang) |
| 3 : <i>Mass flow sensor</i> | 10 : <i>Extractor pipes</i> (saluran buang) |
| 4 : <i>Butterfly valve</i> | 11 : <i>Collector</i> (<i>Exhaust manifold</i>) |
| 5 : <i>Air box</i> | 12 : <i>Catalytic converter</i> |
| 6 : <i>Intake runners</i> | 13 : <i>Muffler</i> |
| 7 : <i>Inlet valve</i> | |

2.3 Zeolit

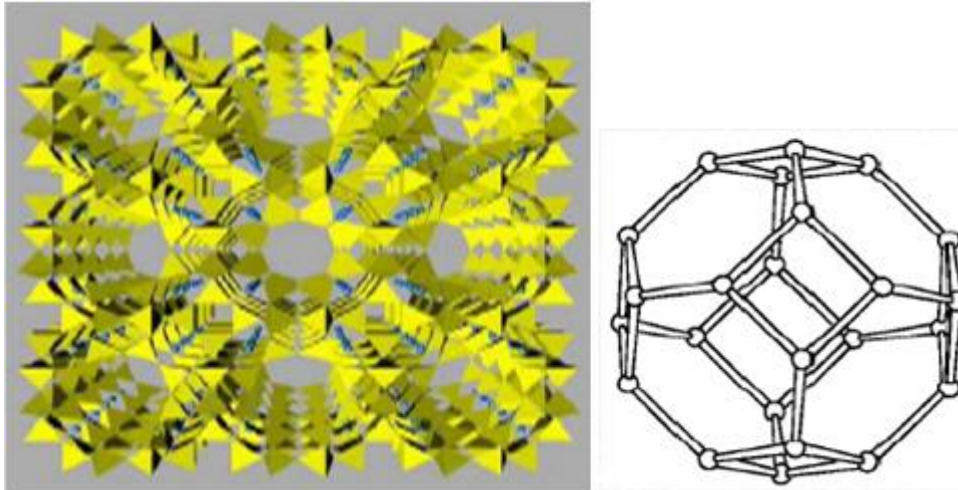
Zeolit ditemukan oleh seorang ahli mineral dari Swedia, bernama Baron Axel Frederick Cronstedt pada tahun 1756. Mineral zeolit berbentuk kristal yang terdapat di dalam rongga batuan basal. Zeolit berasal dari kata *zein* dan *lithos* yang berarti batu api atau *boiling stone* (Hendritomo, 1984).

2.3.1 Deskripsi Zeolit

Zeolit merupakan salah satu mineral alam yang banyak terdapat di Indonesia. Jumlah kandungan zeolit yang berada di Indonesia diperkirakan 13002500 ton, yang tersebar di beberapa daerah pulau Jawa dan Sumatera. Mineral alam zeolit biasanya masih tercampur dengan mineral lainnya seperti kalsit, gipsum, feldspar dan kuarsa yang ditemukan di daerah sekitar gunung berapi atau mengendap pada daerah sumber air panas (*hot spring*).

Sampai saat ini lebih dari 50 mineral pembentuk zeolit alam sudah diketahui, tetapi hanya sembilan diantaranya yang sering ditemukan, yaitu *klinoptilolit*, *mordenit*, *analsim*, *khabsit*, *erionit*, *ferierit*, *heulandit*, *laumonit* dan *filipsit*. Dari hasil penyelidikan yang pernah dilakukan, jenis mineral zeolit yang terdapat di Indonesia adalah *modernit* dan *klinoptilolit* (Eddy, H.R., 2007).

Zeolit adalah senyawa zat kimia alumino-silikat berhidrat dengan kation natrium, kalium dan barium. Secara umum, Zeolit memiliki melekular sruktur yang unik, dimana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Gambar struktur zeolit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Di beberapa tempat di jaringan ini, atom Silicon digantikan dengan atom Aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom Oksigen. Atom Aluminium ini hanya memiliki muatan 3+, sedangkan Silicon sendiri memiliki muatan 4+. Keberadaan atom Aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan Zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan Zeolit mampu mengikat kation. Zeolit juga sering disebut sebagai *molecular sieve* atau *molecular mesh* (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran melekuler sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu.



Gambar 2-2 Struktur zeolit murni dan jaringannya

Sumber : Dokumentasi Arsip Repository UI (2011)

Zeolit hasil penambangan berupa bongkah bongkah, harus diolah terlebih dahulu sebelum digunakan untuk berbagai keperluan. Secara garis besar, pengolahan zeolit melalui beberapa tahapan meliputi: pengeringan awal, peremukan, penggerusan, pengayakan dan aktivasi. Untuk pembuatan pelet zeolit, tahapan pengolahannya meliputi pengeringan, peremukan, penggerusan, peletizing, pemanasan (pengeringan), pengayakan, dan pengepakan (Eddy, H.R., 2007). Dalam penelitian ini yang digunakan adalah serbuk zeolit yang sudah jadi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2-3 Serbuk zeolit

Sumber: Data Penelitian (2010)

Dalam pemanfaatan zeolit telah mengalami pengembangan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk beberapa keperluan dalam industri dan pertanian, juga bagi lingkungan, terutama untuk menghilangkan bau, karena zeolit dapat menyerap molekul-molekul gas seperti CO, CO₂, H₂S dan lainnya (Eddy, H.R., 2007).

2.3.2 Sifat Zeolit

Zeolit merupakan bahan galian non logam atau mineral industri multi guna karena memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang unik yaitu sebagai penyerap, penukar ion, penyaring molekul dan sebagai katalisator. Sifat fisik zeolit berdasarkan Dokumentasi Arsip Repository Universitas Indonesia (2011), meliputi:

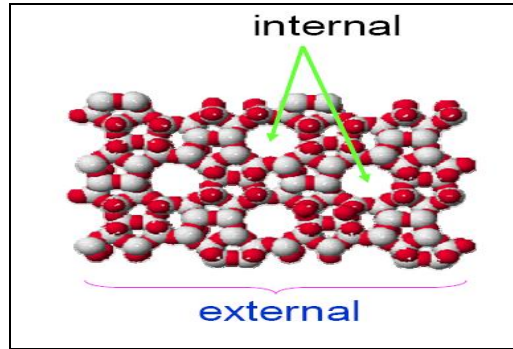
1. Morfologi

Mineral zeolit alam yang terdapat di batu-batuan dapat berupa kristal tunggal (single crystal) dengan ukuran beberapa mm. Dapat disebut dengan *dense polycrystalline aggregate* yang berarti tahan segala cuaca, dan ketika matriks dari bebatuan hancur maka zeolit akan terpisah sebagai serpihan. Sedangkan zeolit sintesis pada umumnya berbentuk *polikristalin*. Zeolit sintetis ini dapat dilihat dengan mikroskop elektron, dengan tipe bentuk sebagai berikut:

- *well-developed faces*, contoh: kubus, heksagonal, dan lain-lain.
- *irregular faces*, contoh: gabungan dari beberapa *face*
- *highly twinned aggregates*: dua kristal tumbuh berdekatan kelihatan seperti satu kristal
- *intergrowth* (tumpang tindih): satu kristal tumbuh bersatu atau tumpang tindih dengan kristal lain.

2. Ukuran partikel

Ukuran partikel zeolit berkisar antara 1 sampai 10 mikron. Luas permukaan (*surface area*) dibedakan menjadi *external surface area* (ESA) dan *internal surface area* (ISA) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2-4 Permukaan partikel zeolit

Sumber: Dokumentasi Arsip Repository Universitas Indonesia (2011)

3. Densitas atau kerapatan

Kerapatan zeolit cukup rendah, berkisar antara 1,9 – 2,3 g/ml. Hal ini dipengaruhi oleh keterbukaan kerangka dan jenis kation. Nilai kerapatan akan meningkat bila dilakukan pertukaran kation dengan ion logam yang berat, sebagai contoh kerapatan Ba-Zeolit sebesar 2,8 g/ml.

4. Kekerasan (*hardness*)

Nilai kekerasan zeolit berkisar antar 4 - 5 skala Mohr.

5. Warna

Pada keadaan murni (*pure state*), mineral zeolit tidak berwarna (*colourless*). Zeolit akan menjadi berwarna apabila dipadukan terjadi *impurities* dengan logam-logam transisi. Bubuk dari zeolit sintesis pada umumnya berwarna putih. Pertukaran kation Golongan IA atau IIA ditukar dengan logam transisi akan memberikan warna pada zeolit yang warnanya bergantung dari tingkat hidrasi dari kation tersebut. Dengan adanya perubahan warna pada zeolit dapat digunakan sebagai indikator adanya uap air.

6. Daya hantar listrik

Daya hantar listrik dipengaruhi oleh kehadiran kation dan molekul air dalam rongga (*cavities*). Zeolit memiliki kation yang *mobile* yang terdapat di dalam *cavities*, pada dinding *channel* dan bergerak bebas dalam *channel*, terkoordinasi dengan molekul air. Hantaran listrik pada zeolit bersifat ionik yang disebabkan oleh perpindahan kation-kation melalui kerangka zeolit.

Secara kimia, kandungan zeolit yang utama adalah: $\text{SiO}_2 = 62,75\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12,71\%$; $\text{K}_2\text{O} = 1,28\%$; $\text{CaO} = 3,39\%$; $\text{Na}_2\text{O} = 1,29\%$; $\text{MnO} = 5,58\%$; Fe_2O_3

= 2,01 %; MgO = 0,85 %; Clinoptilolit = 30 %; Mordernit = 49 %. Sedangkan nilai KTK (nilai daya tukar kation) antara 80 - 120 me/100 g, nilai yang tergolong tinggi untuk penilaian tingkat kesuburan tanah. Untuk menjadikan zeolit menjadi mineral aktif maka diperlukan aktivasi berupa pemanasan pada suhu minimal 500⁰C, seperti layaknya membakar batu kapur (Harjono, 2004).

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang bisa dipertukarkan serta memiliki ukuran pori yang tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, penukar ion, penyerap bahan dan katalisator. Menurut Budi, S.S. (2006), sifat-sifat zeolit secara umum meliputi:

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan efektif terinteraksi dengan molekul yang akan diabsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal zeolit terus dipanaskan. Dengan kata lain, zeolit mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering.

2. Adsorpsi

Zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran dan kepolarannya, dimana untuk molekul yang tidak jenuh atau bersifat polar akan lebih mudah lolos daripada molekul yang jenuh atau tidak polar.

3. Penukar ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari : sifat kation, suhu, dan jenis anion. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktifitas katalis. Sifat ini pula menyebabkan zeolit dimanfaatkan untuk melunakkan air.

4. Katalis

Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang maksimum. Zeolit dengan ukuran rongga tertentu digunakan pula sebagai katalis untuk mengubah alkohol menjadi hidrokarbon sehingga alkohol dapat digunakan sebagai bensin.

5. Penyaring atau pemisah

Volume dan ukuran garis tengah ruang hampa dalam kisi-kisi kristal menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring molekul. Molekul yang berukuran kecil dapat melintas sedangkan yang berukuran besar dari ruang hampa akan ditahan atau ditolak.

2.3.3 Jenis Zeolit

Menurut proses pembentukannya, zeolit dapat digolongkan menjadi 2 kelompok (Budi, S.S., 2006) yaitu:

1. Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses perubahan alam (zeolitisasi) dari batuan vulkanik *tuf*. Telah diketahui lebih dari 40 jenis mineral zeolit di alam. Dari jumlah tersebut hanya 20 jenis yang terdapat dalam batuan sedimen terutama sedimen piroklastik yang berbutir halus (*tuf*). Komposisi dan struktur zeolit kebanyakan terdiri dari mineral *mordenit* dan *klinoptillit*.

Zeolit yang diperoleh dari alam telah dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Akan tetapi daya serap, daya tukar ion maupun daya katalis dari zeolit tersebut belum maksimal. Untuk memperoleh zeolit dengan kemampuan yang tinggi diperlukan beberapa perlakuan antara lain; aktivasi dan modifikasi.

2. Zeolit Sintetis

Zeolit mempunyai sifat yang unik yaitu susunan atom maupun komposisinya dapat dimodifikasikan, maka para peneliti berupaya untuk membuat zeolit sintetis yang mempunyai sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Berdasarkan perbandingan kadar komponen Si and Al, zeolit sintetis dikelompokkan menjadi empat, yaitu zeolit kadar Si rendah, zeolit kadar Si sedang, zeolit kadar Si tinggi dan zeolit Si.

Penggunaan zeolit sintetis pada dasarnya sama dengan zeolit alam. Ini karena persamaan sifat fisik dan kimia yang dimiliki oleh kedua jenis mineral tersebut. Mineral zeolit sintetis masing-masing mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Perbedaan utama antara kedua jenis mineral zeolit alam dan sintetis ditunjukkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2-1 Perbedaan zeolit alam dan zeolit sintetis

Macam Perbedaan	Mineral Zeolit Alam	Mineral zeolit Sintetis
Derajat Kemurnian	Umumnya banyak mengandung pengotor, terutama besi. Kebanyakan endapan zeolit alam terdiri dari campuran beberapa jenis mineral zeolit.	Dapat dibuat mineral zeolit sintetis berderajat kemurnian tinggi.
Garis tengah pori	Sangat terbatas, yang terbesar hanya terdapat pada mineral khabasit dan erionit.	Dapat dibuat mineral zeolit yang ruang kosong bergaris tengah dari 3 A hingga 8 A
Daya Serap	Terbatas, hanya mineral khabasit dan erionit yang mempunyai daya serap baik	Dapat menyerap hingga 50 % dari volumenya.

Sumber: (Budi, S.S., 2006)

2.4 Gypsum

Berdasarkan web mineral data, kata gipsum berasal dari bahasa Yunani *burned mineral* yang artinya mineral yang terbakar. Hal ini dikarenakan di daerah Montmartre, Paris, pada beberapa abad yang lalu orang-orangnya membakar gipsum untuk berbagai keperluan, dan material tersebut kemudian disebut dengan plester dari Paris. Orang-orang di daerah ini juga menggunakan gipsum sebagai krim untuk kaki, sampo, dan sebagai produk perawatan rambut lainnya. Karena gipsum merupakan mineral yang tidak larut dalam air dalam waktu yang lama, sehingga gipsum jarang ditemui dalam bentuk butiran atau pasir. Contoh gambar gipsum yang bentuknya seperti batangan pensil ditunjukkan pada Gambar 2.5.

Kristal gipsum terbesar dengan panjang lebih dari 10 meter pernah ditemukan di Naica, Chihuahua, Mexico. Gipsum banyak ditemukan di berbagai daerah di dunia, yaitu Jamaika, Iran, Thailand, Spanyol (penghasil gipsum terbesar di Eropa), Jerman, Italia, Inggris, Irlandia, Manitoba, Ontario, Canada, New York, Michigan, Indiana, Texas, Iowa, Kansas, Oklahoma, Arizona, New Mexico, Colorado, Utah, Nevada, Paris, California, New South Wales, Kalimantan, dan Jawa Barat.



Gambar 2-5 *Pencil-sized acicular crystals of gypsum*

Sumber: Web mineral data

Gipsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya. Gipsum yang paling umum ditemukan adalah jenis hidrat kalsium sulfat dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (<http://webmineral.com/Gypsum>). Gipsum adalah salah satu dari beberapa mineral yang teruapkan. Contoh lain dari mineral-mineral tersebut adalah karbonat, borat, nitrat, dan sulfat. Mineral-mineral ini diendapkan di laut, danau, gua dan di lapisan garam karena konsentrasi ion-ion oleh penguapan. Ketika air panas atau air memiliki kadar garam yang tinggi, gipsum berubah menjadi basanit ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) atau juga menjadi anhidrit (CaSO_4). Dalam keadaan seimbang, gipsum yang berada di atas suhu 108°F atau 42°C dalam air murni akan berubah menjadi anhidrit. Sebutan lain dari gipsum adalah *Alabaster*, ICSD 2057, PDF 33-311, *Satin Spar*, dan *Selenite* (<http://webmineral.com/Gypsum>).

Gipsum termasuk mineral dengan sistem kristal monoklin $2/m$, namun kristal gipsnya masuk ke dalam sistem kristal *orthorombik*. Gipsum umumnya berwarna putih, kelabu, cokelat, kuning, dan transparan. Hal ini tergantung

mineral pengotor yang berasosiasi dengan gipsum. Gipsum umumnya memiliki sifat lunak dan pejal dengan skala Mohs 1,5 – 2. Berat jenis gipsum antara 2,31 – 2,35, kelarutan dalam air 1,8 gr/liter pada 0 °C yang meningkat menjadi 2,1 gr/liter pada 40 °C, tapi menurun lagi ketika suhu semakin tinggi. Gipsum memiliki pecahan yang baik, antara 66° sampai dengan 114° dan belahannya adalah jenis *choncoidal*. Gipsum memiliki kilap sutra hingga kilap lilin, tergantung dari jenisnya. Gores gipsum berwarna putih, memiliki derajat ketransparanan dari jenis transparan hingga *translucent*, serta memiliki sifat menolak magnet atau disebut diamagnetit (<http://webmineral.com/Gypsum>).

Gipsum memiliki banyak kegunaan sejak zaman prasejarah hingga sekarang. Beberapa kegunaan gipsum antara lain:

1. *Drywall*.

Drywall merupakan fungsi gipsum untuk menutup atau sebagai plester dalam interior dinding rumah.

2. Bahan perekat.

3. Penyaring dan sebagai pupuk tanah.

Di akhir abad 18 dan awal abad 19, gipsum Nova Scotia atau yang lebih dikenal dengan sebutan plaister, digunakan dalam jumlah yang besar sebagai pupuk di ladang-ladang gandum di Amerika Serikat.

4. Campuran bahan pembuatan lapangan tenis.

5. Sebagai pengganti kayu pada zaman kerajaan-kerajaan.

Contohnya ketika kayu menjadi langka pada Zaman Perunggu, gipsum digunakan sebagai bahan bangunan.

6. Sebagai pengental tofu karena memiliki kadar kalsium yang tinggi, khususnya di Benua Asia (beberapa negara Asia Timur) diproses dengan cara tradisional.

7. Sebagai penambah kekerasan untuk bahan bangunan

8. Untuk bahan baku kapur tulis.

9. Sebagai salah satu bahan pembuat *portland* semen

10. Sebagai indikator pada tanah dan air.

11. Sebagai agen medis pada ramuan tradisional China yang disebut *Shi Gao*.

2.5 Permeabilitas

Permeabilitas adalah ukuran dari jumlah uap air (kelembaban) yang dapat menembus bahan tertentu dalam jumlah waktu tertentu. Ukuran dan tingkat permeabilitas dinyatakan dalam satuan disebut sebagai *perms*. Bahan dengan tingkat *Perm* tinggi akan memungkinkan lebih banyak uap air melewati dibandingkan dengan nilai-nilai *Perm* lebih rendah (http://www.omnova.com/products/wallcovering/perm_test.aspx).

Macam-macam permeabilitas (Cahyono, 2010) yaitu:

1. *Base* permeabilitas : permeabilitas dalam keadaan kering
2. *Green* permeabilitas : permeabilitas dalam keadaan basah
3. *Dry* permeabilitas : permeabilitas yang diperlakukan panas dari 100° - 110°
4. *Baked* permeabilitas : permeabilitas yang diperlakukan panas lebih dari 110°

Faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas (Cahyono, 2010) yaitu:

1. Kadar air

Kadar air standar untuk pasir cetak adalah antara 1.5% - 8% tergantung dari jenis cetakan dan logam yang di tuang (Richard W Heinc “*principle of metal casting*”). Bila pasir cetak kekurangan kadar air, maka lempung akan kekurangan daya ikat untuk mengikat pasir silica. Sehingga butir-butir lempung yang memperoleh air yang cukup akan menyebarkan mengisi celah-celah antar butir pasir cetak yang akan menurunkan permeabilitasnya. Begitu juga dengan kadar air yang banyak maka lempung akan seperti pasta dan menurunkan permeabilitas. Pasir yang telah di keringkan mempunyai permeabilitas dan kekuatan yang meningkat dibandingkan dengan kekuatan basah, karena air bebas dan air yang diadsorbsi pada permukaan butir tanah lempung dihilangkan.

2. Kadar lempung

Kadar lempung untuk pasir cetak standart adalah 2 – 30% (Richard W Heinc “*principle of metal casting*” 864), ukuran butir tanah lempung sekitar 0,005mm – 0,02mm (Tata surdia, Teknik pengecoran logam III). Lempung tersusun atas kuorlinit, monmorilonit, kuarsa fildpor, mika dan kotoran lain (Richard W Heinc “*principle of metal casting*” 86). Bila kadar lempung rendah maka air yang tidak terserap oleh lempung yang akan menempati celah antar butir pasir, sehingga menurunkan permeabilitas pasir cetak. Dan bila kadar lempung

terlalu tinggi, maka sebagian yang tidak memperoleh air menyebar mengisi celah antar butir pasir sehingga menurunkan permeabilitas pasir cetak.

3. Bentuk dan distribusi pasir cetak

Untuk jenis butir pasir bulat baik sebagai pasir cetak, karena memerlukan jumlah pengikat yang lebih sedikit untuk mendapatkan kekuatan dan permeabilitas tertentu, serta mampu alirnya baik sekali. Pasir berbutir kristal kurang baik untuk pasir cetak sebab akan pecah menjadi butir-butir kecil pada pencampuran serta memberikan ketahanan dan permeabilitas yang buruk pada cetakan dan selanjutnya membutuhkan pengikat dengan jumlah yang banyak. Pasir cetak biasanya kumpulan dari butir-butir yang berukuran bermacam-macam. Tetapi kadang-kadang terdiri dari butir-butir tersaring yang mempunyai ukuran seragam. Besar butiran yang diinginkan adalah sedemikian sehingga 2 per 3 dari butiran pasir mempunyai ukuran dari 3 mesh yang berurutan dan sisanya dari ukuran mesh-mesh berikutnya. Jadi lebih baik tidak mempunyai besar butir yang seragam.

4. Penekanan *Sand Rammer*

Semakin banyak penekanan *sand rammer* pada pasir maka dapat mengakibatkan jarak antara butir pasir menjadi lebih rapat dan padat. Akibatnya celah-celah udara menjadi semakin sempit dan akan menurunkan permeabilitasnya.

2.2 Penelitian Sebelumnya

Sebelum penelitian ini dilakukan, terdapat beberapa penelitian tentang pemanfaatan lain dari mineral zeolit, sebagai berikut :

1. Pemanfaatan zeolit untuk penguraian limbah

Budi, S.S. (2006) melakukan penelitian tentang pemanfaatan zeolit dengan judul “Penurunan Fosfat Dengan Penambahan Kapur (*Lime*), Tawas Dan Filtrasi Zeolit Pada Limbah Cair (Studi Kasus RS. Bethesda Yogyakarta)”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efektifitas penurunan kadar fosfat limbah cair rumah sakit Bethesda Yogyakarta sebelum dan setelah melalui perlakuan penambahan larutan kapur dan larutan tawas serta filtrasi zeolit.

Penelitian dilakukan pada limbah cair Rumah Sakit Bethesda dan uji laboratorium dilaksanakan di Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pembrantasan Penyakit Menular (BBTKL-PPM) Yogyakarta, meliputi sanitasi rumah sakit, yaitu pada sistem pengolahan dan pengelolaan pencemaran Rumah Sakit Bethesda. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan analisa *design pre test and post test design* dan hasilnya akan diuji secara diskriptif analitis dengan korelasi.

Komponen fosfat dipergunakan untuk membuat sabun sebagai pembentuk buih. Dengan adanya fosfat dalam air limbah dapat menghambat penguraian pada proses biologis. Pembuangan limbah yang banyak mengandung fosfat ke dalam badan air dapat menyebabkan pertumbuhan lumut dan mikroalga yang berlebih yang disebut “*eutrophication*” sehingga air menjadi keruh dan berbau karena pembusukan lumut-lumut yang mati. Hasil dari pengukuran kadar limbah RS Bethesda menunjukkan bahwa kadar fosfat melebihi parameter yang ditentukan.

Limbah yang diambil di bak equalisasi tersebut kemudian diolah dengan cara koagulasi dan flokulasi, yaitu dengan penambahan larutan tawas dan kapur dengan pertimbangan harga yang relatif murah, mudah didapatkan di pasaran, dan juga aman terhadap lingkungan. Hasilnya, semakin tinggi larutan tawas dan larutan kapur yang ditambahkan, maka kadar fosfat (PO_4^{3-}) semakin menurun. Selanjutnya limbah hasil perlakuan koagulasi dan flokulasi dilewatkan pada unit filtrasi zeolit. Kesimpulannya, semakin tinggi larutan kapur dan larutan tawas yang ditambahkan, maka kadar fosfat setelah filtrasi zeolit semakin kecil.

2. Pemanfaatan zeolit untuk reaksi hidrogenasi

Setiadi, dkk. (2000) melakukan penelitian pemanfaatan zeolit dengan judul “Pemanfaatan Zeolit Alam Sebagai Komponen Penyangga Katalis untuk Reaksi Hidrogenasi CO_2 & Perengkahan Minyak Sawit”. Penelitian ini diawali dengan pembuatan katalis $\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{ZSM-5}$ dengan metode kopresipitasi menggunakan garam-garam nitrat Cu dan Zn pada penyangga zeolit ZSM-5 pada *loading* (berat CuO dan ZnO di dalam penyangganya) 10%, 20%, 30% , 40% dan ZSM-5 murni. Katalis yang dihasilkan kemudian diuji keaktifannya dalam reaksi hidrogenasi gas CO_2 menjadi metanol dengan cara mereaksikan CO_2 dan H_2 dalam reaktor unggun

tetap pada kondisi operasi tekanan 25 bar, temperatur 250 °C, dan rasio umpan $\text{CO}_2 : \text{H}_2 = 1 : 3$. Pembuatan katalis katalis CuO/ZnO/Zeolit Alam masing-masing dengan metode impregnasi dan *physical mixing* pada loading terbaik hasil uji aktifitas dari semua katalis CuO/ZnO/ZSM-5 hasil preparasi metode kopresipitasi.

Hasil pengujian katalis menunjukkan bahwa metanol (CH_3OH) dapat dibuat dari umpan utama gas CO_2 dan H_2 dengan katalis CuO/ZnO/ZSM-5 dan katalis CuO/ZnO/Zeolit alam hasil preparasi kopresipitasi, impregnasi dan *physical mixing*. Pengujian terhadap katalis CuO/ZnO/ZSM-5 hasil preparasi kopresipitasi menunjukkan bahwa katalis dengan loading 30% dengan yield metanol (0.1359%). Metode kopresipitasi adalah yang terbaik di antara ketiganya. Didapatkan pula penyangga zeolit alam malang juga mampu memberikan yield produk metanol walaupun tidak setinggi yang didapat dengan penyangga ZSM-5.

Sedangkan untuk reaksi perengkahan katalitik minyak sawit menggunakan penyangga zeolit alam untuk memproduksi senyawa hidrokarbon fraksi bensin dipelajari dalam suatu reactor *fixed bed* pada tekanan atmosferik dan suhu 350-500 °C. Zeolit Alam dengan penambahan kadar B_2O_3 0-20 % digunakan sebagai katalis dengan variabel temperatur, jenis umpan dan penambahan B_2O_3 . Karakteristik untuk melihat luas permukaan dengan metode BET dan keberadaan/kristalinitas B_2O_3 dengan metode XRD. Penambahan B_2O_3 optimum adalah 5% memberikan *yield* 52,3% untuk umpan POME dan 38% minyak sawit dan metanol.

3. Pemanfaatan zeolit di bidang pertanian

Susanti, P.D. dan Panjaitan, S. dalam Prosiding PPI Standardisasi (2010) melakukan penelitian dengan judul “Manfaat Zeolit dan *Rock Phosphat* dalam Pengomposan Limbah Pasar”. Permasalahan yang dikaji adalah bagaimanakah pengaruh penambahan zeolit dan *rock phosphat* terhadap kualitas pupuk kompos limbah pasar. Atas dasar sifat dan keunggulan dari zeolit dan *rock phosphat*, diajukan hipotesis bahwa pupuk kompos yang berasal dari limbah pasar ditambah dengan pemberian zeolit dan *rock phosphat*, akan mempunyai pengaruh positif terhadap perubahan beberapa kandungan unsur hara yang dibutuhkan tanaman.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan zeolit dan *rock phosphat* terhadap mutu atau kualitas kompos limbah pasar.

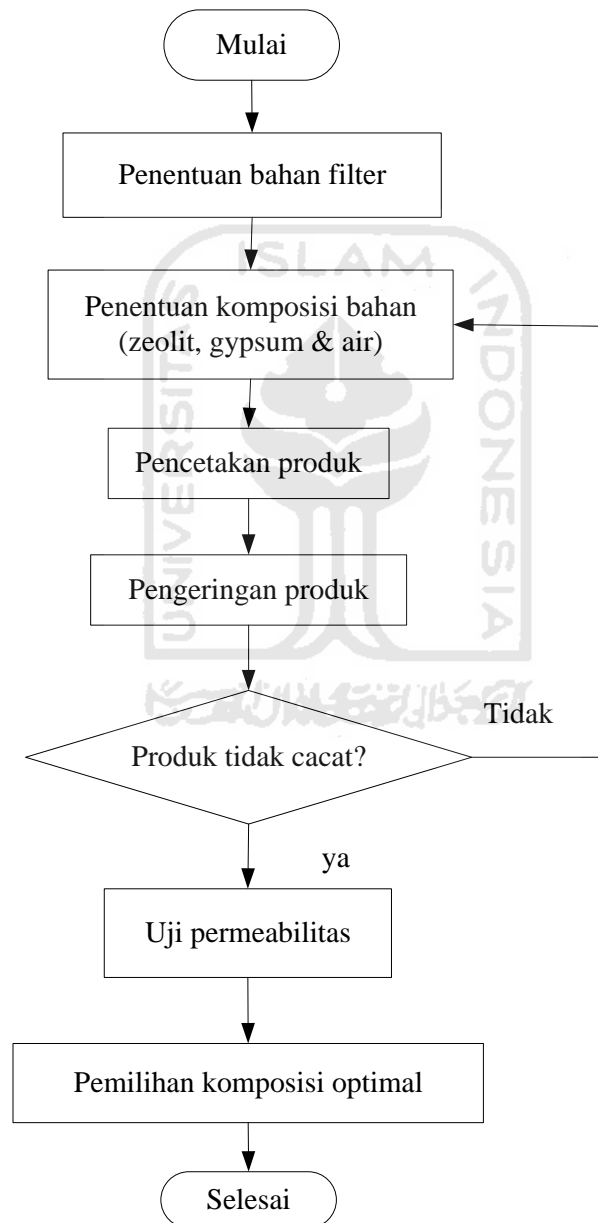
Pemanfaatan zeolit dalam pembuatan kompos ini dapat memperbaiki sifat fisik kompos dan mengurangi bau yang menyengat dari gas amonia serta dapat meningkatkan kadar nitrogen kompos. Hal ini terjadi melalui penyerapan nitrogen oleh zeolit yang dapat dilepas kembali secara berlahan untuk keperluan tanaman (Suryapratama, 2004). Untuk meningkatkan kapasitas tukar kation pupuk kompos perlu ditambahkan bahan yang mempunyai kemampuan menyerap kation yang tinggi. Zeolit alam telah lama diketahui mempunyai kemampuan yang sangat baik untuk menyerap dan menukarkan kation (Budiono, 2003). Hal tersebut juga didukung dengan hasil penelitian Setiyadi (1999) yang menyebutkan bahwa zeolit Tasikmalaya yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kandungan SiO_2 69,6%; Al_2O_3 13,83%; Fe_2O_3 1,83%; TiO_2 0,23%; CaO 1,78%; MgO 0,92%; K_2O 1,91%; dan NaO 1,1%. Berdasarkan kandungan tersebut, diharapkan kualitas kompos limbah pasar ini dapat meningkat.

Pemberian zeolit dapat meningkatkan pH kompos karena zeolit merupakan mineral basa (Sarief, 1984). Berdasarkan hasil analisis laboratorium, diketahui bahwa zeolit mempunyai pH 7,86. Hal ini menyebabkan peningkatan pH kompos seiring dengan peningkatan dosis zeolit yang diberikan dalam kompos.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan tahapan penelitian yang dirancang secara sistematis yang saling terkait satu dengan lainnya. Oleh sebab itu, untuk mendapatkan hasil yang baik, suatu penelitian harus direncanakan sebaik-baiknya. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3-1 Metodologi penelitian

3.1 Penentuan Bahan *Filter*

Alternatif solusi untuk mengurangi emisi gas buang yaitu dengan mengembangkan substitusi bahan bakar, mengembangkan sumber tenaga alternatif (tenaga listrik ataupun tenaga surya) yang ramah lingkungan, memodifikasi mesin, atau mengembangkan sistem pembuangan (knalpot). Dalam penelitian ini, pengurangan emisi gas buang dilakukan dengan mengembangkan sistem pembuangan (knalpot) dengan menggunakan *filter*. *Filter* yang digunakan yaitu mineral zeolit. Alasan penggunaan zeolit yaitu karena zeolit memiliki pori-pori yang berukuran molekuler yang dapat menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Selain itu, berdasarkan Dokumentasi Arsip Repository UI (2011), zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain:

1. Mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab.
2. Zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya, misal zeolit melepas natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium.
3. Zeolit dengan ukuran rongga tertentu digunakan pula sebagai katalis untuk mengubah alkohol menjadi hidrokarbon sehingga alkohol dapat digunakan sebagai bensin.
4. Zeolit berfungsi sebagai katalis yang mampu menguraikan dan mereduksi gas buang.

Penggunaan zeolit sebagai *filter* harus dipadukan dengan logam aktif dan zat perekat yang dapat memperkuat *filter*. Akan tetapi perpaduan logam aktif tidak dibahas dalam penelitian ini, sedangkan untuk memperkuat *filter* atau mengikat material zeolit menggunakan gipsum. Gipsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya. Gipsum tidak larut dalam air dalam waktu yang lama, sehingga gipsum jarang ditemui dalam bentuk butiran atau pasir. Karena ketidaklarutannya dalam air, gipsum dapat digunakan sebagai bahan perekat dan penambah kekerasan bahan. Sedangkan untuk mencampur zeolit dengan gipsum diperlukan air.

3.2 Penentuan Komposisi Bahan

Bahan *filter* yang digunakan yaitu zeolit, gipsum, dan air. Dalam penelitian ini, penentuan prosentase komposisi bahan dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen, yaitu dengan mengubah–ubah proporsi zeolit maupun gipsum sehingga diperoleh produk yang tidak cacat. Kecacatan produk dinilai berdasarkan kesempurnaan bentuk dan permukaan secara visual setelah dicetak dan dikeringkan.

Alat bantu yang diperlukan untuk mengukur berat proporsi bahan yaitu menggunakan timbangan digital seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Alasan penggunaan timbangan digital adalah untuk ketepatan dan keakuratan pengukuran.



Gambar 3-2 Timbangan digital

Sumber: Laboratorium Kimia Dasar

Fakultas Teknologi Industri UII (2010)

Dalam penelitian ini, diperoleh empat sampel dengan perbandingan komposisi berat zeolit dan gipsum yang berbeda-beda, yang dinilai tidak cacat.

3.3 Pencetakan Produk

Proses pencetakan produk (*filter*) dilakukan dalam dua tahap, yaitu pembuatan cetakan dan proses pencetakan produk (komposisi zeolit-gipsum-air). Tahap pembuatan cetakan diperlukan untuk membuat alat yang dapat membentuk produk agar produk dapat dipasang pada knalpot kendaraan. Tahap pencetakan dilakukan dengan cara mencampur semua bahan yaitu serbuk zeolit dengan

gypsum dan dengan menggunakan air secukupnya kemudian dimasukkan ke dalam cetakan.

Cetakan zeolit dibuat dengan menggunakan bahan utama berupa besi plat dan besi silinder yang kesemuanya kualitas besi St-37. Pemilihan material St 37 ini dikarenakan bahan ini sudah biasa dipakai sebagai konstruksi. Gambar dan spesifikasi cetakan ditunjukkan pada Gambar 4.1.

3.4 Pengeringan Produk

Proses pengeringan produk (*filter*) dilakukan untuk mengeringkan produk dan mengetahui kekuatan produk apabila dikondisikan pada suhu yang hampir sama dengan suhu knalpot ketika beroperasi. Pengeringan dilakukan dengan oven seri *vulcan 3-550* (Gambar 4.4) di Laboratorium Kimia Dasar Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Pengovenan produk menggunakan suhu 400⁰C selama 6 jam. Setelah kering, produk dinilai secara visual, apakah cacat (sukar dibentuk, mudah rapuh & permukaan tidak sempurna) atau tidak.

3.5 Uji Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui ukuran dari jumlah uap air (kelembaban) yang dapat menembus bahan tertentu (campuran zeolit dan gypsum) dalam jumlah waktu tertentu. Dalam penelitian ini, uji permeabilitas dilakukan terhadap 4 sampel yang tidak cacat atau lolos dari penilaian visual. Uji permeabilitas dilakukan dengan menggunakan alat yaitu *Permeability Tester* (Gambar 4.5) di Laboratorium Logam Ceper, Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten. Jenis pengujiannya yaitu pasir cetak yang dilakukan dalam keadaan kering (base permeabilitas).

3.6 Pemilihan Komposisi Optimal

Komposisi zeolit dan gypsum yang optimal yaitu komposisi terbaik dari empat sampel yang lolos penilaian visual (tidak cacat) dan memiliki nilai permeabilitas tertinggi. Dengan permeabilitas *filter* yang tinggi, jumlah uap air karena bertambah panasnya knalpot dapat mengalir lebih baik melalui *filter*.



BAB 4

DATA PENELITIAN

4.1 Komposisi Bahan *Filter*

Bahan utama *filter* yang digunakan adalah zeolit karena sifatnya yang mampu menguraikan dan mereduksi gas buang. Sedangkan untuk campurannya digunakan gipsum dan air. Gipsum dapat digunakan sebagai bahan perekat dan penambah kekerasan bahan karena mempunyai kadar kalsium yang bagus dan tidak larut dalam air. Hal ini diperlukan untuk menjaga kestabilan bentuk *filter* apabila terkena uap air. Sedangkan air diperlukan untuk mencampur zeolit dan gipsum agar tercampur sempurna sebelum dicetak dan dikeringkan.

Penentuan prosentase komposisi bahan dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen, yaitu dengan mengubah-ubah proporsi zeolit maupun gipsum sehingga diperoleh produk yang tidak cacat. Alat bantu yang diperlukan untuk mengukur berat proporsi bahan yaitu menggunakan timbangan digital. Alasan penggunaan timbangan digital adalah untuk ketepatan dan keakuratan pengukuran.

Dalam penelitian ini, diperoleh empat sampel dengan perbandingan komposisi berat zeolit dan gipsum yang berbeda-beda, yang dinilai tidak cacat. Komposisi zeolit dan gipsum yang terpilih ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4-1 Komposisi bahan *filter* yang tidak cacat

Campuran	Zeolit	Gipsum
Sampel A	90 %	10 %
Sampel B	85 %	15 %
Sampel C	80 %	20 %
Sampel D	75 %	25 %

Sumber: Data eksperimen penelitian (2010)

4.2 Proses Pencetakan Produk (*Filter*)

Tahapan proses pencetakan produk dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Pembuatan cetakan produk

Cetakan produk berfungsi untuk membentuk campuran bahan (zeolit-gypsum-air) agar dapat digunakan sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu dipasang pada saluran pembuangan (knalpot). Cetakan zeolit dibuat dengan menggunakan bahan utama berupa besi plat dan besi silinder yang kesemuanya kualitas besi St-37. Pemilihan material St 37 ini dikarenakan bahan ini sudah biasa dipakai sebagai konstruksi mesin dan mudah di las. Proses pembuatan alat cetak bahan dengan menggunakan proses pengelasan. Gambar dan spesifikasi cetakan ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4-1 Cetakan produk

Sumber: Hasil eksperimen penelitian (2010)

2. Proses pencetakan

Proses pencetakan dilakukan terhadap empat sampel dengan cara mencampur komposisi serbuk zeolit dengan gipsum dan dengan menggunakan air secukupnya kemudian dimasukkan ke dalam cetakan. Setelah dicetak, produk ditekan menggunakan mesin pres dan didiamkan beberapa jam sampai kering dan bisa dilepaskan dari alat pencetak. Pengepresan dilakukan untuk memadatkan campuran bahan penelitian di Laboratorium Kimia Dasar Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.. Alat pres yang digunakan, ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4-2 Alat pres

Sumber: Laboratorium Kimia Dasar

Fakultas Teknologi Industri UII (2010)

Dokumentasi produk hasil dari proses pencetakan ditunjukkan pada Gambar 4.3. Gambar Teknik untuk hasil cetakan terdapat di lampiran.



Gambar 4-3 Dokumentasi hasil produk

Sumber: Hasil eksperimen penelitian (2010)

4.3 Proses Pengeringan Produk (*Filter*)

Setelah proses pencetakan, semua sampel dikeringkan untuk mengetahui kekuatan ataupun ketahanan komposisi *filter* terhadap panas mesin kendaraan. Proses pengeringan produk dilakukan dengan menggunakan oven seri *vulcan 3-550* (gambar 4.4) di Laboratorium Kimia Dasar Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Pengovenan menggunakan suhu 400°C selama 6 jam. Temperatur ini dibuat mendekati temperatur knalpot ketika dijalankan. Proses ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan produk.



Gambar 4-4 Oven vulcan 3-550

Sumber: Laboratorium Kimia Dasar

Fakultas Teknologi Industri UII (2010)

Dari proses pengeringan, diperoleh pengamatan visual terhadap semua sampel seperti pada Tabel 4.2. Pengamatan visual dilakukan berdasarkan kesempurnaan bentuk dan permukaan secara visual.

Tabel 4-2 Pengamatan visual pada semua sampel komposisi material

Komposisi material		Hasil pengamatan visual
Zeolit	Gypsum	
90 %	10 %	Kurang bagus & mudah rapuh (A)
85 %	15 %	Bagus & tidak mudah rapuh (B)
80 %	20 %	Bagus & tidak mudah rapuh (C)
75 %	25 %	Bagus & tidak mudah rapuh (D)

Sumber: Hasil eksperimen penelitian (2010)

4.4 Pengujian Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui ukuran dari jumlah uap air (kelembaban) yang dapat menembus bahan tertentu (campuran zeolit dan gipsum) dalam jumlah waktu tertentu. Dalam penelitian ini, uji permeabilitas dilakukan dengan menggunakan alat yaitu *Permeability Tester*. Gambar *Permeability Tester* ditunjukkan pada Gambar 4.5. Pengujian permeabilitas dilakukan di Laboratorium Logam Ceper, Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten.



Gambar 4-5 *Permeability Tester*

Sumber: Laboratorium Logam Ceper, Klaten (2011)

Uji permeabilitas dalam penelitian ini dilakukan pada semua sampel terpilih dengan komposisi berat bahan 1000 gram dengan berat sampel yang digunakan 100 gram. Sampel untuk uji permeabilitas dibuat dalam bentuk tabung berdiameter 5cm. Bentuk sampel ditunjukkan pada Gambar 4.6. Tiap sampel

diujikan dalam 3 kali percobaan. Hasil pengujian permeabilitas untuk keempat sampel yang tidak cacat ditunjukkan pada tabel 4.3.



Gambar 4-6 Bentuk Sampel Uji Permeabilitas

Sumber: Laboratorium Logam Ceper, Klaten (2011)

Tabel 4-3 Hasil uji permeabilitas semua sampel komposisi material

No	Jenis Pengujian	Satuan	Sampel A			Sampel B			Sampel C			Sampel D		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1.	Berat Standart Sampel	Gram	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2.	Permeabilitas	-	26	24	27,5	32	30	31	26,8	27,5	26	13,8	12,9	14

Sumber: Hasil eksperimen penelitian

Laboratorium Logam Ceper, Klaten (2011)

Dari Tabel 4.3, rata-rata nilai permeabilitas dalam 3 kali percobaan untuk semua sampel ditunjukkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4-4 Nilai rata-rata sampel uji permeabilitas

sampel	prosentase zeolit	rata2 permeabilitas (μ)
A	90%	25,83
B	85%	31,00
C	80%	26,77
D	75%	13,57

Sumber: Hasil eksperimen penelitian (2011)

BAB 5

PENUTUP

5.1 Analisis Hasil Cetakan *Filter*

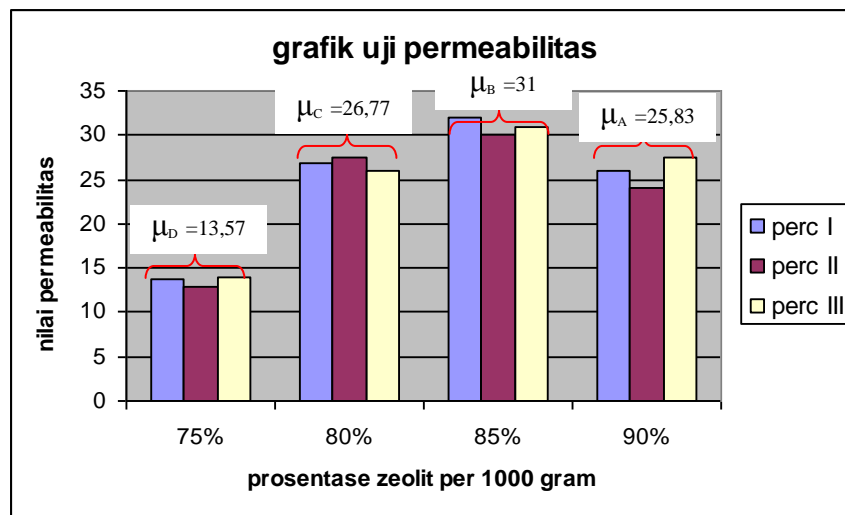
Ukuran cetakan *filter* disesuaikan dengan diameter dalam knalpot kendaraan dengan tujuan agar dapat masuk ke dalam knalpot sehingga dapat sesuai tujuannya yaitu sebagai katalis knalpot. Meskipun material zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler (*molecular sieve*), diperlukan penambahan lubang pada cetakan *filter*. Lubang-lubang ini diperlukan untuk mengalirkan udara panas yang keluar dari proses mesin kendaraan dan mengantisipasi tertutupnya pori-pori zeolit oleh partikel gas buang sehingga arus pembuangan knalpot tetap lancar dan tidak terjadi arus balik (*back flow*).

5.2 Analisis Kekuatan *Filter*

Kekuatan *filter* dilihat berdasarkan kesempurnaan bentuk dan permukaan secara visual. Dari proses cetak dan pengeringan, diperoleh pengamatan visual terhadap semua sampel seperti pada Tabel 4.2. Dari tabel 4.2 diketahui komposisi yang baik (dapat dibentuk) dan tidak mudah rapuh yaitu komposisi B (zeolit 85%), C (zeolit 80%), dan D (zeolit 75%). Akan tetapi dari kombinasi ketiga sampel belum dapat dikatakan komposisi yang tepat untuk *filter* pada knalpot kendaraan, sehingga diperlukan pengujian permeabilitas.

5.1 Analisis Uji Permeabilitas

Hasil pengujian permeabilitas ditunjukkan pada grafik 5.1. Nilai permeabilitas rata-rata tertinggi yaitu sampel B (zeolit 85%) sebesar 31. Nilai permeabilitas ini adalah nilai yang optimal karena merupakan nilai terbesar dari semua sampel yang diujikan. Dengan nilai permeabilitas yang besar, maka gas buang hasil proses pembakaran kendaraan yang umumnya panas dapat cepat dilepaskan dari knalpot. Sedangkan molekul emisi gas buang yang bersifat *pollutant* dapat dikatalisasi oleh *filter* zeolit.



Gambar 5-1 Hasil uji permeabilitas

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2011)

5.3 Analisis Komposisi Bahan *Filter* Optimal

Komposisi *filter* yang optimal yaitu komposisi terbaik dari semua sampel yang lolos penilaian visual (tidak cacat) dan memiliki nilai permeabilitas tertinggi. Dari Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa prosentase minimal gipsium yang digunakan agar komposisi *filter* tidak mudah rapuh (kuat dan tahan terhadap panas) yaitu 15% atau produk yang tidak cacat yaitu produk B, C, dan D. Dari tabel 4.3 diketahui komposisi yang mempunyai permeabilitas terbaik adalah sampel B (85% zeolit, 15% gipsium) dengan rata-rata nilai permeabilitas 31.

Dengan kata lain, nilai optimal penggunaan zeolit agar tidak mudah rapuh ketika terjadi pemanasan pada knalpot dan mempunyai permeabilitas yang baik yaitu sebesar 85% (sampel B).



BAB 6

PENUTUP

Kajian mengenai penentuan komposisi zeolit-gipsum merupakan usaha untuk meminimalkan emisi gas buang kendaraan. Hasil penelitian terangkum dalam kesimpulan sedangkan masukan perbaikan untuk penelitian selanjutnya terdapat dalam saran.

6.1 Kesimpulan

Dari penelitian mengenai penentuan komposisi zeolit-gipsum untuk menghasilkan *filter* knalpot dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Prosentase minimal gipsum yang digunakan agar komposisi *filter* tidak mudah rapuh (kuat dan tahan terhadap panas) yaitu 15%.
2. Komposisi zeolit dan gipsum yang mempunyai permeabilitas terbaik adalah sampel B (85% zeolit, 15% gipsum), dengan rata-rata nilai permeabilitas tertinggi yaitu 31.
3. Nilai optimal penggunaan zeolit yang siap dilapisi dengan logam aktif adalah 85%.

6.2 Saran

Saran yang diberikan pada penelitian selanjutnya agar diperoleh output yang lebih optimal, sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengembangan *filter* dengan komposisi zeolit 85% dan gipsum 15% dengan penambahan logam aktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi, S.S. 2006. *Penurunan Fosfat Dengan Penambahan Kapur (Lime), Tawas Dan Filtrasi Zeolit Pada Limbah Cair (Studi Kasus RS. Bethesda Yogyakarta)*. Tesis. Semarang: Program Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro. (Diakses 11 Januari 2011)
- Budiono, M.N. dan H. A. M. Suswojo. 2003. *Pembuatan Pupuk Zeofosfokompos Diperkaya Mineral Pirit (FeS₂) untuk Mendukung Pemanfaatan Sumbledaya Lokal dalam Pengelolaan Tanah Mineral Masam Secara Berkelanjutan*. Laporan Hasil Penelitian. Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto. 12p. (Diakses 11 Januari 2011)
- Cahyono, Dwi. 2010. *Pengujian Permeabilitas Pasir Cetak*. Tersedia di: <http://dwidebrina.blogspot.com/2010/04/pengujian-permeabilitaspasir-cetak.html>. (Diakses 20 Agustus 2010)
- Dokumentasi Arsip Repository Universitas Indonesia. 2011. *Zeolit - Sifat fisik, kimia dan penukar kation*. Fakultas Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam. Tersedia di: <http://repository.ui.ac.id/contents/koleksi/.pdf>. (Diakses 11 Januari 2011)
- Eddy, H.R. 2007. *Potensi dan Pemanfaatan Zeolit di Provinsi Jawa Barat dan Banten*. Tersedia di: http://psdg.bgl.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=493&Itemid=395 (Diakses 11 Januari 2011)
- Harjono. 2004. *Zeolit, Bahan Pembunuh Tanah*. Tersedia di: <http://www.suaramerdeka.com/harian/0402/23/ragam3.htm>. (Diakses 20 Agustus 2010)
- Heine, Richard W. Loper, Carl R. Rosenthal, & Philip C. *Principles Of Metal Casting*. McGraw Hill. 2nd edition. (Diakses 11 Januari 2011)
- Hendritomo. 1984. *Suatu Kemungkinan Aplikasi Zeolit untuk Meningkatkan Produksi Pertanian, Peternakan, dan Perikanan*. Majalah BPTP No. VII/1984. (Diakses 20 Agustus 2010)

- Oki Muraza. 2010. *Masa Depan Bumi Di Ujung Knalpot*. Tersedia di: <http://www.kamusilmiah.com/lingkungan/masa-depan-bumi-di-ujung-knalpot>. (Diakses 19 Agustus 2010)
- Omnova Solutions Inc. 2005. *Permeability, Permeability Testing and Perm Ratings*. Tersedia di: http://www.omnova.com/products/wallcovering/perm_test.aspx. (Diakses 19 Agustus 2010)
- Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara Pasal 1. (Diakses 20 Agustus 2010)
- Sarief, S. 1984. *Kesuburan dan Pemupukan Tanah Pertanian*. Pustaka Buana. Bandung. 182p. (Diakses 20 Agustus 2010)
- Sastrawijaya, T. 1995. *Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: Rineka Cipta. (Diakses 20 Agustus 2010)
- Setiadi, Yanes Darmawan, R. Melisa Fitria. 2000. *Pemanfaatan Zeolit Alam Sebagai Komponen Penyangga Katalis untuk Reaksi Hidrogenasi CO₂ & Perengkahan Minyak Sawit*. Makalah. Depok: Departemen Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. (Diakses 20 Agustus 2010)
- Setiadi, (2005), "Oxidative dehydrogenasi Etana menjadi Etilen Menggunakan B₂O₃ : Pengaruh Kandungan Boron Oksida". Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia, Jakarta. (Diakses 11 Januari 2011)
- Setiyadi, J. 1999. *Pengaruh Aktivasi Basa terhadap Sifat Kimia zeolit Alam dari Deposit-deposit Kabupaten Banyumas, Banjarnegara, dan Tasikmalaya*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto. 46 hal. (Diakses 11 Januari 2011)
- SK Menteri Kependudukan Lingkungan Hidup No 02/MENKLH/1988 tentang Pencemaran Udara. (Diakses 20 Agustus 2010)
- Suryapratama, W. 2004. *Peranan Zeolit dalam Bidang Peternakan*. Makalah. Seminar Nasional dan Petermuan Nasional Luar Biasa Forum Komunikasi Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah. Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto. (Diakses 11 Januari 2011)

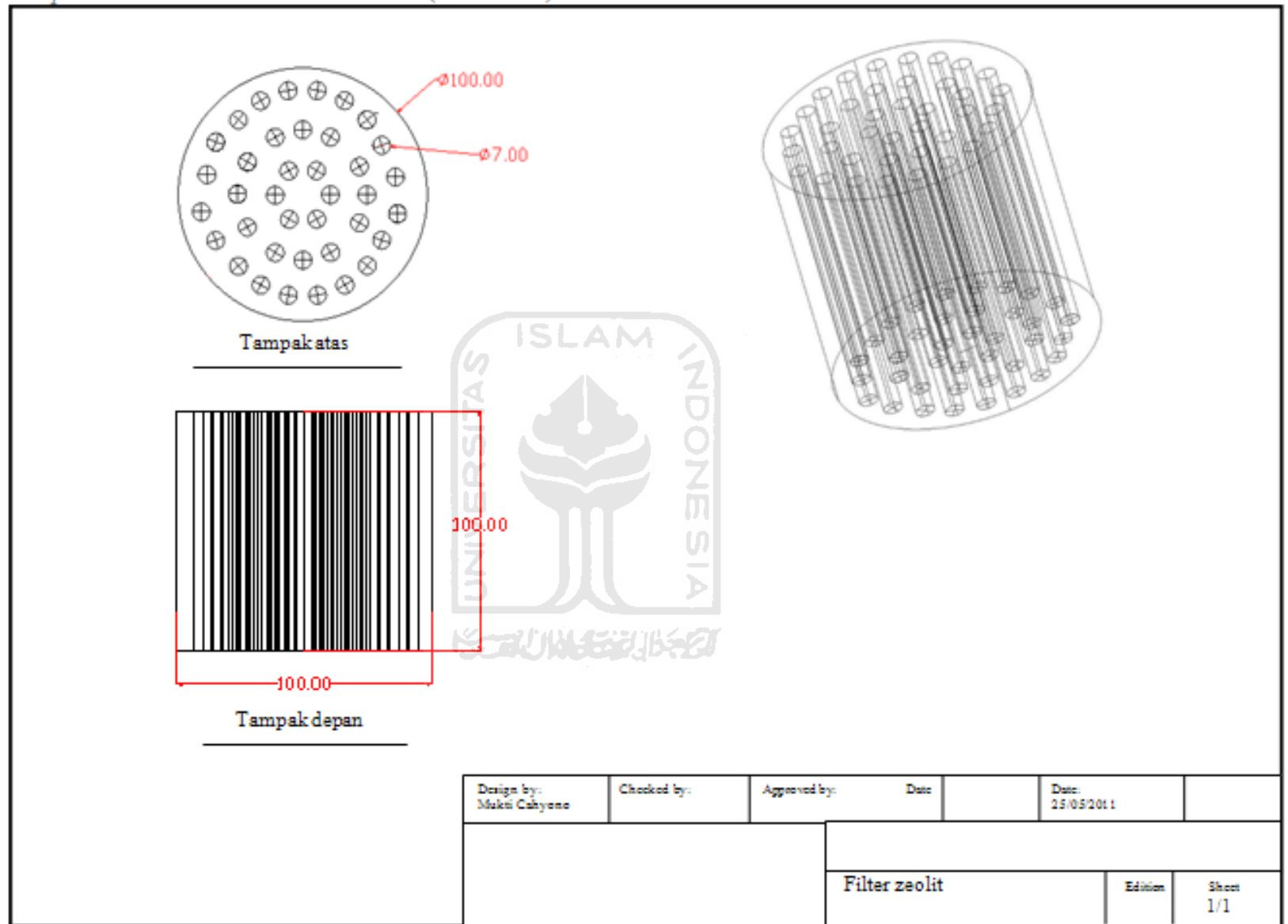
- Susanti, P.D. dan Panjaitan, S. 2010. *Manfaat Zeolit dan Rock Phosphat dalam Pengomposan Limbah Pasar*. Prosiding PPI. Kalimantan Selatan: Balai Penelitian Kehutanan Banjarbaru. (Diakses 11 Januari 2011)
- Tim Fakultas Teknik. 2003. *Teknik Dasar Motor Diesel*. Modul Sekolah Menengah Kejuruan Bidang Keahlian Teknik Telekomunikasi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta. (Diakses 11 Januari 2011)
- Webmineral. *General Gypsum Information*. Tersedia di: <http://webmineral.com/data/Gypsum.shtml>. (Diakses 3 Januari 2011)
- Widiantoro. 2011. *Sistem Pembuangan*. Tersedia di: <http://ambar-widiantoro.blogspot.com/2011/02/sistem-pembuangan.html>. (Diakses 22 Februari 2011)



LAMPIRAN



Lampiran 2. Gambar Teknik Hasil Cetakam (Filter Zeolit)



LAMPIRAN I.B : KEPUTUSAN MENTERI NEGARA
 LINGKUNGAN HIDUP
 NOMOR : KEP. 41 / MENLH / 2003
 TENTANG : AMBANG BATAS EMISI GAS BUANG
 KENDARAAN BERMOTOR TIPE BARU
 DAN KENDARAAN BERMOTOR YANG
 SEDANG DIPRODUKSI
 (CURRENT PRODUCTION)
 TANGGAL : 22 SEPTEMBER 2003

AMBANG BATAS EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR TIPE BARU DAN KENDARAAN BERMOTOR YANG SEDANG
 DIPRODUKSI (CURRENT PRODUCTION) DENGAN PENGGERAK MOTOR BAKAR CETUS API BERBAHAN BAKAR BENJIN

KENDARAAN BERMOTOR KATEGORI M & N

NO.	KATEGORI ⁽¹⁾	PARAMETER	NILAI AMBANG BATAS ECE R 83 - 04	
			METODE UJI ECE R 83 - 04	
1	M1, GVW ⁽²⁾ ≤ 2,5 ton, tempat duduk ≤ 5, tidak termasuk tempat duduk pengemudi	CO HC + NOx	2,2 gram/km 0,5 gram/km	
2	M1, Tempat duduk 6-8 tidak termasuk tempat duduk pengemudi, GVW > 2,5 ton atau N1, GVW ≤ 3,5 ton			
	a. Kelas I, RM ⁽³⁾ ≤ 1250 kg	CO HC + NOx	2,2 gram/km 0,5 gram/km	
	b. Kelas II, 1250 kg < RM ≤ 1700 kg	CO HC + NOx	4,0 gram/km 0,6 gram/km	
	c. Kelas III, RM > 1700 kg	CO HC + NOx	5,0 gram/km 0,7 gram/km	

CATATAN:

⁽¹⁾ Dalam hal jumlah penumpang dan GVW tidak sesuai dengan pengkategorian tabel di atas maka nilai ambang batas mengacu kepada pengkategorian GVW

⁽²⁾ GVW : Gross Vehicle Weight adalah Jumlah Berat yang diperbolehkan (JBB).

⁽³⁾ RM : Reference Mass adalah berat kosong kendaraan ditambah massa 100 kg.

M1 : kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan orang dan mempunyai tidak lebih dari delapan tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi

N1 : kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan barang dan mempunyai jumlah berat yang diperbolehkan (GVW) sampai dengan 3,5 ton

Untuk Kendaraan Kategori O1 & O2 Metode Uji dan Nilai Ambang Batas mengikuti Kategori N1 :

O : Kendaraan bermotor penarik untuk gandingan atau tempel

O1 : kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) tidak lebih dari 0,75 Ton

O2 : kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 0,75 Ton tetapi tidak lebih dari 3,5 Ton

Menteri Negara
 Lingkungan Hidup,

ttd

Nabiel Makarim, MPA, MSM



Dokumen ini sesuai dengan aslinya
 di Kantor MENLH Bidang Kebijakan
 dan Pengembangan Lingkungan Hidup.

Hoebiro MPA.

LAMPIRAN I.C : KEPUTUSAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP
 NOMOR : KEPI 41 / MENLH / 2003
 TENTANG : AMBANG BATAS EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR TIPE BARU DAN KENDARAAN BERMOTOR YANG SEDANG DIPRODUKSI (CURRENT PRODUCTION)
 TANGGAL : 23 September 2003

AMBANG BATAS EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR TIPE BARU DAN KENDARAAN BERMOTOR YANG SEDANG DIPRODUKSI (CURRENT PRODUCTION) DENGAN PENGGERAK MOTOR BAKAR PENYALAAAN KOMPRESI (DIESEL)

A. KENDARAAN BERMOTOR KATEGORI M & N

NO.	KATEGORI ⁽¹⁾	PARAMETER	NILAI AMBANG BATAS		
			ECE R 83-04	METODA UJI ECE R 83-04	
1	M1, GVW ⁽²⁾ ≤ 2,5 ton, tempat duduk ≤ 5, tidak termasuk tempat duduk pengemudi	CO	1,0	gram/km	
		HC + NOx	0,7 (0,9) ⁽⁴⁾	gram/km	
		PM	0,08 (0,1) ⁽⁴⁾	gram/km	
2	M1, Tempat duduk 6-8 tidak termasuk tempat duduk pengemudi, GVW > 2,5 ton atau N1, GVW ≤ 3,5 ton	a. Kelas I, RM ⁽³⁾ ≤ 1250 kg.	CO	1,0	gram/km
			HC + NOx	0,7 (0,9) ⁽⁴⁾	gram/km
			PM	0,08 (0,1) ⁽⁴⁾	gram/km
		b. Kelas II, 1250 kg < RM ≤ 1700 kg	CO	1,25	gram/km
			HC + NOx	1,0 (1,3) ⁽⁴⁾	gram/km
			PM	0,12 (0,14) ⁽⁴⁾	gram/km
		c. Kelas III, RM > 1700 kg	CO	1,5	gram/km
			HC + NOx	1,2 (1,6) ⁽⁴⁾	gram/km
			PM	0,17 (0,2) ⁽⁴⁾	gram/km

CATATAN:

- ⁽¹⁾ Dalam hal jumlah penumpang dan GVW tidak sesuai dengan pengkategorian label diatas maka nilai ambang batas pengacu kepada pengkategorian GVW
- ⁽²⁾ GVW : Gross Vehicle Weight adalah Jumlah Berat yang diperbolehkan (JBB).
- ⁽³⁾ RM : Reference Mass adalah berat kosong kendaraan ditambah massa 100 kg.
- ⁽⁴⁾ Nilai Ambang Batas dalam kurung untuk Diesel Injeksi Langsung, dan setelah 3 (tiga) tahun Nilai Ambang Batasnya **DISAMAKAN DENGAN** Nilai Ambang Batas Diesel Injeksi tidak Langsung
- Untuk Kendaraan Kategori O1 & O2 Metode Uji dan Nilai Ambang Batas mengikuti Kategori N1;
 - O : Kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempel
 - O1 : kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) tidak lebih dari 0,75 Ton
 - O2 : kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 0,75 Ton tetapi tidak lebih dari 3,5 Ton

B. KENDARAAN BERMOTOR KATEGORI M, N & O

NO.	KATEGORI	PARAMETER	NILAI AMBANG BATAS
			METODE ECE R 49-02
	M2, M3, N2, N3, O3 dan O4, GVW ⁽¹⁾ > 3,5 ton	CO	4,0 gram/kWh
		HC	1,1 gram/kWh
		NOx	7,0 gram/kWh
		PM	0,15 gram/kWh

CATATAN:

- ⁽¹⁾ GVW : Gross Vehicle Weight adalah Jumlah Berat yang diperbolehkan (JBB).
- M2 : kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan orang dan mempunyai lebih dari delapan tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi dan mempunyai jumlah berat yang diperbolehkan (GVW) sampai dengan 5 ton
- M3 : kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan orang dan mempunyai lebih dari delapan tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi dan mempunyai jumlah berat yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 5 ton
- N2 : kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan barang dan mempunyai jumlah berat yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 3,5 ton tetapi tidak lebih dari 12 ton
- N3 : kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan barang dan mempunyai jumlah berat yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 12 ton
- O : Kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempel
- O3 : kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 3,5 ton tetapi tidak lebih dari 10 ton
- O4 : kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 10 ton

Menteri Negara
Lingkungan Hidup,

ttd

Nabiel Makarim, MPA, MSM



LAMPIRAN I.D : KEPUTUSAN MENTERI NEGARA
 LINGKUNGAN HIDUP
 NOMOR : KEP-141/MENLH/S/2003
 TENTANG : AMBANG BATAS EMISI GAS BUANG
 KENDARAAN BERMOTOR TIPE BARU
 DAN KENDARAAN BERMOTOR YANG
 SEDANG DIPRODUKSI
 (CURRENT PRODUCTION)
 TANGGAL : 23 September 2003

AMBANG BATAS EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR TIPE BARU DAN KENDARAAN BERMOTOR YANG SEDANG
 DIPRODUKSI (CURRENT PRODUCTION) DENGAN PENGGERAK MOTOR BAKAR CETUS API BERBAHAN
 BAKAR GAS (LPG/CNG)

KENDARAAN BERMOTOR KATEGORI M & N

NO.	KATEGORI ⁽¹⁾	PARAMETER	NILAI AMBANG BATAS ECE R 83-04	
			METODE ECE R 83-04	
1	M1, GVW ⁽²⁾ ≤ 2,5 ton, tempat duduk ≤ 5, tidak termasuk tempat duduk pengemudi	CO HC + NOx	2,2 gram/km 0,5 gram/km	
2	M1, Tempat duduk 6-8 tidak termasuk tempat duduk pengemudi, GVW > 2,5 ton atau N1, GVW ≤ 3,5 ton			
	a. Kelas I, RM ⁽³⁾ ≤ 1250 kg	CO HC + NOx	2,2 gram/km 0,5 gram/km	
	b. Kelas II, 1250 kg < RM < 1700 kg	CO HC + NOx	4,0 gram/km 0,6 gram/km	
	c. Kelas III, RM > 1700 kg	CO HC + NOx	5,0 gram/km 0,7 gram/km	

CATATAN:

- ⁽¹⁾ Dalam hal jumlah penumpang dan GVW tidak sesuai dengan pengkategorian tabel diatas maka nilai ambang batas pengacu kepada pengkategorian GVW
- ⁽²⁾ GVW : Gross Vehicle Weight adalah Jumlah Berat yang diperbolehkan (JBB).
- ⁽³⁾ RM : Reference Mass adalah berat kosong kendaraan ditambah massa 100 kg.
- M1 : kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan orang dan mempunyai tidak lebih dari delapan tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi
- N1 : kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan barang dan mempunyai jumlah berat yang diperbolehkan (GVW) sampai dengan 3,5 ton
- Untuk Kendaraan Kategori O1 & O2 Metode Uji dan Nilai Ambang Batas mengikuti Kategori N1;
 - O : Kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempel
 - O1 : kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) tidak lebih dari 0,75 Ton
 - O2 : kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 0,75 Ton tetapi tidak lebih dari 3,5 Ton

Menteri Negara
 Lingkungan Hidup,

ttt

Nabiel Makarim, MPA, MSM



LAPORAN PENGUJIAN

Nomor : 465/UJI/PC/IX/2010 Jenis Pengujian : Pasir Cetak
Pelanggan : **Mukti Cahyono** Metode Pengujian : SNI 15-0312-1989
NIM. 00525098 Diterima Tanggal : 24 September 2010
Mhs. UII Yogyakarta Tanggal Pengujian : 27 September 2010

Ket. Contoh :
Hasil Uji :

Laporan ini tidak boleh digandakan sebagian
Laporan pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Sampel A			Sampel B			Sampel C			Sampel D		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1.	Berat Standart Sampel	gram	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2.	Permeabilitas		26	24	27,5	32	30	31	26,8	27,5	26	13,8	12,9	14

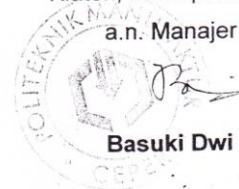
Keterangan :

Komposisi Bahan Berat 1000 gram

Campuran	Zeolit	Gypsum
Sampel A	90%	10%
Sampel B	85%	15%
Sampel C	80%	20%
Sampel D	75%	25%

Klaten, 28 September 2010

a.n. Manajer Teknik



Basuki Dwi Santoso