

PENGARUH PENGGUNAAN MEMBRAN KERAMIK BERBASIS ZEOLIT DAN GYPSUM TERHADAP EMISI GAS CO, NOX KENDARAAN BERMOTOR

M. Hatta Dahlan*, Eric Junior Pratama, Mia Odina

*Staff Pengajar Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Palembang – Prabumulih KM. 32 Indralaya Ogan Ilir (OI) 30662
Email: halogenated@hotmail.com

Abstrak

Transportasi merupakan salah satu bidang yang difokuskan dalam kemajuan teknologi. Dengan bertambahnya kendaraan transportasi maka emisi atau gas buang kendaraan bermotor juga akan semakin tinggi, hal ini bisa menyebabkan polusi udara. Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui komposisi membran keramik yang tepat untuk menyaring emisi kendaraan bermotor. Penelitian ini dilakukan menggunakan membran keramik dengan komposisi tanah liat 50% dan zeolit dan gypsum divariasikan. Membran I dengan 37,5% zeolit dan 17,5% gypsum; membran II dengan 25% zeolit dan 25% gypsum; membran III dengan 12,5% zeolit dan 37,5% gypsum. Sampel emisi gas yang diteliti adalah CO dan NOx. Kadar emisi gas buang dianalisa menggunakan *Portable Emission Analyzer* seri E4500 *Hand-Held Emissions Analyzer* dan jumlah partikel yang tersaring dihitung menggunakan analisa *Particulate Matter* (PM10). Membran dianalisa dengan waktu pengujian yang berbeda yaitu 10 menit, 20 menit dan 30 menit. Dari hasil penelitian diketahui bahwa membran I merupakan filter yang paling baik dengan waktu analisa selama 30 menit dengan penyaringan CO sebesar 71,42% dan NOx sebesar 55,55% serta jumlah partikel yang tersaring sebesar 483.4603 µg.

Kata kunci: emisi, CO, membran keramik, NOx, particulate matter, Portable Emission Analyzer

Abstract

Transportation is one area that is focused on the advancement of technology. With increasing transport vehicles, the exhaust emissions of motor vehicles will also be higher, in which the exhaust gas may cause air pollution. Research was conducted to determine the exact composition of the ceramic membranes to filter motor vehicle emissions. This study was conducted using a ceramic membrane with a composition of 50 % clay and zeolite and gypsum varied. Membrane I with 37.5% of zeolite and 17.5% of gypsum; membrane II with 25 % of zeolite and 25 % of gypsum; membrane III with 12.5% of zeolite and 37.5% of gypsum. Sample gas emissions studied were CO and NOx. Exhaust emission levels were analyzed using Portable Emissions Analyzer E4500 series Hand-Held Emissions Analyzer and number of particles are filtered calculated using analysis of Particulate Matter (PM10). Membranes were analyzed by different testing time of 10 minutes, 20 minutes and 30 minutes. The result showed that the membrane I is the best filter with analysis times for 30 minutes with filtration CO by 71.42 % and NOx by 55.55 % and the amount of particles filtered out of 483.4603 µg.

Keywords: emissions, ceramic membrane, CO, NOx, particulate matter, Portable Emission Analyzer

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan kepadatan penduduk terpadat ke empat di dunia. Indonesia merupakan negara dengan pengguna kendaraan bermotor yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Republik Indonesia

yang bersumber dari Kantor Kepolisian Republik Indonesia, kendaraan bermotor mengalami pertambahan jumlah yang cukup berarti dari tahun 1987 sampai tahun 2013. Pada tahun 1987, jumlah sepeda motor 5.554.305 unit. Kemudian di tahun 2000 menjadi 13.563.017 unit dan di tahun 2013 jumlah kendaraan bermotor tersebut semakin meningkat hingga 104.118.969 unit

sepeda motor. Dalam kurun waktu 26 tahun, sepeda motor telah mengalami peningkatan sebanyak 98.564.664 unit. Pencemaran udara yang berasal dari hasil pembakaran kendaraan bermotor berupa emisi gas mengandung berbagai polutan yaitu gas karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), sulfur oksida (SO_x), partikulat, dan sebagainya. Gas-gas buangan dapat berdampak buruk bagi kesehatan apabila dihirup oleh manusia. Pada konsentrasi tertentu, parameter-parameter tersebut dapat mengakibatkan kematian. (Basuki, 2007).

Pada kemajuan teknologi saat ini, perkembangan pengetahuan mengenai membran keramik sudah sangat pesat. Berdasarkan penelitian Van Vlack (1985), menyatakan bahwa salah satu keramik berporositas telah berhasil dibuat dan dimanfaatkan sebagai filter. (Tambunan, 2008). Gypsum merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul CaSO₄.2H₂O, merupakan filter yang bagus untuk menyaring gas karena gypsum memiliki permukaan yang halus dan mempunyai porositas yang tinggi. (Sukardjo, 1990). Zeolit merupakan mineral alam yang dapat dimanfaatkan sebagai penukar ion, penyaring molekuler, adsorben dan katalis. (Muhammad, 1995).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menurunkan gas buang sisa hasil pembakaran yang berbahaya dan mencemari lingkungan itu yakni dengan menyaring gas hasil pembakaran tersebut dengan menggunakan membran keramik berbasis gypsum dan zeolit pada kendaraan bermotor. Sehingga diharapkan pencemaran udara yang diakibatkan oleh emisi kendaraan bermotor dapat berkurang dan tidak mengganggu kesehatan makhluk hidup.

Emisi Kendaraan Bermotor

Emisi atau gas buang kendaraan bermotor dihasilkan dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor yang berfungsi untuk menghasilkan tenaga gerak. Gas buang pada kendaraan bermotor ini dikeluarkan melalui saluran buang pada kendaraan bermotor atau yang biasa dikenal sebagai knalpot. Gas buang ini mengandung berbagai senyawa kimia. Kandungan dari gas buang kendaraan bermotor ini tidak sama untuk setiap kendaraan, tergantung dari kondisi mengemudi, jenis mesin, jenis bahan bakar, dan faktor lain yang terlibat.

Gas buang dari knalpot motor terbentuk selama pembakaran bahan bakar fosil untuk menghasilkan tenaga penggerak kendaraan. Senyawa hasil gas buang knalpot yang dinyatakan berbahaya untuk kesehatan maupun dapat

menyebabkan pencemaran lingkungan oksida sulfur, oksida nitrogen, dan oksida karbon, hidrokarbon, logam berat tertentu dan partikulat.

1. Oksida Sulfur dan Partikulat

Sulfur oksida merupakan gas buang yang larut dalam air dan dapat langsung terabsorpsi kedalam saluran pernafasan dan langsung masuk kedalam paru-paru. Partikulat gas buang knalpot yang terdiri dari jelaga dan senyawa anorganik dan berupa partikel yang sangat kecil sehingga bisa masuk kedalam alveoli paru-paru. Selain itu, karena ukuran dari partikulat ini juga sangat kecil maka dapat masuk ke mukosa (kelenjar pelapis bagian dalam tubuh) dan menyebabkan saluran pernafasan tersumbat.

2. Oksida Nitrogen

Dari semua oksida nitrogen yang ada diudara, nitrogen oksida (NO₂) adalah yang paling berbahaya. NO₂ memiliki kelarutan yang rendah didalam air sehingga NO₂ dapat masuk kedalam lapisan saluran pernafasan lebih dalam. Berdasarkan hasil studi, contoh dampak berbahaya dari NO₂ ini adalah meningkatkan resiko terkena radang paru-paru. Batas ambang maksimum untuk menghirup gas ini adalah sebesar 250 µg/m³.

3. Ozon dan Oksida lainnya

Ozon dapat menembus ke dalam alveoli paru-paru dikarenakan memiliki daya larut yang lebih rendah daripada SO₂ dan NO₂. Ozon adalah senyawa oksidan yang paling kuat daripada NO₂ sehingga dapat langsung bereaksi dengan jaringan tubuh. Berdasar evaluasi dampak ozon yang dilakukan oleh WHO *task group* mengindikasikan bahwa terkena paparan ozon dengan jumlah 200-500 µg/m³ dalam waktu singkat bisa meningkatkan frekwensi timbulnya serangan asma.

4. Karbon Monoksida.

Daya ikat karbon monoksida terhadap haemoglobin lebih kuat dibandingkan daya ikat oksigen sehingga karbon monoksida dalam darah akan membentuk karboksihemoglobin (COHb). Karena daya ikat CO ini lebih kuat dibandingkan dengan O₂ maka akan menyebabkan berkurangnya pasokan oksigen ke seluruh jaringan tubuh. Masuknya COHb ke jaringan tubuh akan mempengaruhi kerja jantung, sistem syaraf tubuh dan semua jaringan tubuh yang peka terhadap pasokan oksigen. Menurut data evaluasi WHO, penderita penyakit jantung dan paru-paru tidak boleh menghirup CO yang bisa membentuk kadar COHb sebesar 2,5% didalam tubuh. Ini berarti

penderita penyakit jantung tidak boleh menghirup CO sebanyak 29 mg/m^3 selama 1 jam.

5. Karbon Dioksida.

Karbon dioksida berasal dari pembakaran sempurna hidrokarbon termasuk minyak bumi dan gas alam. Secara umum, gas ini tidak berbahaya bagi manusia. Tetapi, peningkatan kadar karbon dioksida di udara telah menyebabkan kenaikan suhu di permukaan bumi. Fenomena kenaikan suhu permukaan bumi oleh gas karbon dioksida dinamakan efek rumah kaca. Efek rumah kaca merupakan peristiwa dimana sinar matahari dapat menembus atap kaca tetapi, sinar inframerah tidak bisa menembusnya dan akan menyebabkan peningkatan suhu sekitar.

6. Timbal (Pb)

Timbal merupakan bahan aditif yang ditambahkan ke dalam bahan bakar yang berfungsi sebagai pelumas untuk dudukan katup mesin pada proses pembakaran. Timbal yang ditambahkan kedalam bahan bakar merupakan timbal organik yang akan berubah menjadi timbal anorganik setelah proses pembakaran. Akibat dari masuknya timbal kedalam tubuh dalam jumlah yang berlebihan adalah mengganggu sintesa haemoglobin dan sistem syaraf tepi. Akibat terganggunya sintesa hemoglobin dapat menyebabkan anemia. Sedangkan gangguan pada syaraf tepi akan menyebabkan terganggunya perkembangan mental. Batas maksimal masuknya timbal kedalam jaringan tubuh adalah 25-35 μg .

Membran

Membran merupakan sebuah ilmu yang mulai dikembangkan oleh para ilmuwan sejak abad 18. Pada awal penemuannya, membran tidak digunakan untuk keperluan komersial akan tetapi untuk keperluan observasi kimia dan fisika. Tetapi, sejak tahun 1960 membran mulai digunakan dalam keperluan industri. Ada berbagai permasalahan yang timbul dari penggunaan membran dalam keperluan industri, yaitu: terlalu lama dalam proses produksi, *unreliable*, terlalu selektif dan terlalu mahal. Namun setelah 30 tahun diperkenalkan teknologi membran dalam industri, permasalahan-permasalahan tersebut akhirnya bisa diatasi.

Membran merupakan alat pemisah yang selektif berupa penghalang yang dapat memisahkan dua fase dari berbagai campuran. Campuran yang dapat dipisahkan oleh membran ini dapat berupa campuran homogen maupun heterogen yang berupa cairan, padatan maupun gas. Proses pemisahan oleh membran terjadi karena adanya *driving force* yang mengakibatkan

adanya perpindahan suatu zat melalui membran. Berdasarkan dari bahan pembuatnya, membran dibagi menjadi membran bahan alami dan membran bahan sintetis. Membran bahan alami terbuat dari bahan yang berasal dari bahan alam seperti *pulp* dan kapas. Sedangkan membran bahan sintetis terbuat dari bahan buatan seperti polimer. Membran berfungsi memisahkan zat berdasar ukuran dan bentuk molekul, yakni membran akan menahan umpan masuk yang memiliki ukuran lebih besar dari pori-pori membran dan akan melewatkan komponen yang memiliki ukuran lebih kecil.

Berdasarkan materialnya, membran terdiri dari tiga jenis, yaitu:

1. Membran Organik (Polimer)

Contoh material membran ini adalah *polycarbonate*, *polyamide*, *polysulfonate* dan lain-lain. Jenis polimer yang dapat dijadikan sebagai membran yaitu:

- Membran berpori (*porous* membran), digunakan untuk aplikasi mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi.
- Membran tidak berpori (*non-porous* membran), digunakan untuk aplikasi permeasi gas, uap dan pervaporasi.

2. Membran Biologi

Membran biologi merupakan membran dengan material membran yang berasal dari makhluk hidup seperti lipida (*phospholipid*). Struktur membran yang dibentuk dari bahan ini sangat kompleks dikarenakan terdiri dari struktur hidrofobik dan hidrofilik.

3. Membran Anorganik

Tipe material anorganik membran ada empat, yaitu:

- Membran gelas atau kaca berupa silikon oksida atau silika (SiO_2).
- Membran logam, termasuk karbon
- Membran zeolit
- Membran keramik yang merupakan kombinasi dari logam (aluminium, titanium, silicium atau zirconium) dan non-logam (*oxide*, *nitride*, atau *carbide*).

Membran keramik merupakan membran yang terbentuk dari kombinasi antara logam dan nonlogam dalam bentuk oksida, nitride maupun karbida. Contoh dari membran keramik ini adalah membran alumina dan zirkona. Hal yang menjadi kunci karakterisasi dari membran keramik adalah susunan, bentuk dan ukuran pori dari membran. Hal ini dikarenakan bentuk dan ukuran dari bahan mentah menentukan susunan, bentuk dan ukuran pori dari membran. Membran keramik memiliki keunggulan yaitu memiliki kestabilan termal, kimia dan mekanik yang tinggi sehingga membran ini memiliki waktu pemakaian yang cukup lama dan mudah untuk dilakukan

pencucian. Hal ini menyebabkan perkembangan membran keramik sangat pesat dalam hal pemisahan.

Membran keramik bisa digunakan untuk proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi termasuk untuk pemisahan gas yang memerlukan suhu tinggi. Karena ketahanan membran jenis ini terhadap suhu yang tinggi, membran keramik sering digunakan untuk pemisahan gas bertemperatur tinggi seperti pada kombinasi zat dengan reaksi kimia dimana membran berguna sebagai pemisah komponen yang terbentuk dari reaksi. Tingkat kualitas membran keramik berdasarkan pada porositasnya dimana semakin tinggi porositasnya maka membran semakin bagus. Porositas dapat ditingkatkan pada saat pembuatan adonan membran (suspensi) dan pencetakan dengan cara aglomerisasi.

Membran keramik dapat digunakan secara luas baik dalam lingkup laboratorium maupun dalam industri. Membran keramik lebih banyak digunakan pada bidang industri dibandingkan dengan membran polimer karena memiliki ketahanan termal, kimiawi dan mekanik yang lebih tinggi. Aplikasi membran keramik dalam industri lebih condong pada proses pemisahan gas pada industri gas dan minyak bumi, pemurnian air, pemurnian oksigen, material pendukung katalis dan sebagainya.

Tanah Liat

Tanah liat memiliki struktur keras saat kering namun akan menjadi lengket apabila terkena air. Sifat dari tanah liat tersebut didasarkan pada jenis mineral tanah liat yang mendominasi. Pembagian mineral tanah liat diklasifikasikan berdasarkan susunan lapisan oksida silikon dan oksida aluminium yang membentuk struktur kristalnya. Golongan tanah liat 1:1 berarti memiliki lapisan satu oksida silikon dan satu lapisan oksida aluminium. Sementara golongan 2:1 memiliki lapisan dua oksida silikon dan satu lapisan oksida aluminium. Tanah liat dengan golongan 2:1 memiliki sifat elastisitas yang kuat dan akan menyusut saat kering serta akan membesar saat basah. Karena adanya sifat ini, maka tanah liat akan membentuk kretutan bahkan pecah-pecah saat kering. Karena terdapat kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan TiO_2 maka tanah liat sering dimanfaatkan untuk membuat genteng dan bata merah.

Gypsum

Gypsum merupakan bagian dari kalsium dari sulfat dihidrat yang mempunyai rumus kimia $(\text{CaSO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$. di alam, gips berupa padatan

berwarna abu-abu, merah ataupun coklat. Warna tersebut disebabkan adanya kandungan zat lain seperti tanah liat, oksidat besi, anhidrat, karbohidrat, sedikit SiO_2 atau oksida logam lain (Anderson, 1977). Menurut Craig dkk (1987), sifat kimia gips adalah :

a) *Solubility* (daya larut) yaitu, banyaknya bagian zat yang terlarut didalam 100 bagian pelarut pada suhu dan tekanan tertentu yang dinyatakan dengan persen berat/volume.

b) *Setting time* yaitu, waktu yang diperlukan oleh gips untuk menjadi keras setelah kontak dengan air.

Faktor yang dapat diamati selama berlangsungnya reaksi *setting*:

a) campuran air dan gips dapat dituang seketika (jika dicampurkan dengan perbandingan yang tepat)

b) bahan menjadi kaku serta dapat diukir, tetapi bahan sudah tidak dapat dibentuk.

c) Terjadi *final set*, dimana bahan menjadi keras dan kuat

d) Dihasilkan ppanas karena proses hidrasi ini bersifat eksotermis.

Zeolit

Zeolit merupakan bahan tambang nonlogam dan sering digunakan sebagai mineral industri multiguna karena memiliki sifat kimia yang unik seperti sebagai penyerap, penukar ion dan sebagai katalis. Karena letak geografis Indonesia yang berada pada jalur pegunungan berapi dunia maka menyebabkan Indonesia kaya akan potensi sumber daya alam seperti batuan gunung berapi yang merupakan sumber mineral dari zeolit. Meskipun zeolit sudah diketahui sejak tahun 1755 oleh ahli mineralogi bernama F.A.F Cronstedt, akan tetapi penggunaannya dalam bidang industri secara komersial baru dikembangkan mulai tahun 1940. Pada tahun 1940 mulai digunakan zeolit sintesis dalam sebuah industri, sedangkan zeolit alam baru mulai digunakan pada tahun 1973.

Zeolit alam memiliki potensi sebagai pengadsorpsi berbagai macam gas seperti CO . Akan tetapi zeolit alam di Indonesia secara komersial belum dimanfaatkan secara optimal. Hal ini disebabkan untuk digunakan secara optimal seperti untuk adsorben, zeolit harus memiliki spesifikasi tertentu. Untuk mencapai spesifikasi tertentu ini, zeolit harus mengalami perlakuan khusus seperti preparasi, aktivasi dan modifikasi. Sedangkan zeolit sintesis tidak sepenuhnya memiliki spesifikasi yang sama dengan zeolit alam meskipun memiliki sifat fisik yang lebih baik dibandingkan dengan zeolit alam. Zeolit alam terbentuk karena adanya reaksi antara batuan tufa asam berbutir halus yang memiliki

sifat riolitik dengan air meteorik. Zeolit alam sering digunakan sebagai bahan baku *water treatment*, pembersih limbah cair dan rumah tangga, industri kosmetik, perikanan, industri farmasi dan sebagainya.

Portable Emission Analyzer seri E4500 Hand-Held Emissions Analyzer

Portable analyzer seri E4500 adalah alat yang bisa digunakan untuk mengecek kadar emisi dari hasil pembakaran, seperti pada mesin kendaraan bermotor, *boiler*, turbin, *burner*, *heater* dan analisa laboratorium. Tujuan pembacaan hasil emisi dengan alat ini adalah untuk mengecek apakah hasil pembakaran sudah melebihi batas aman untuk lingkungan. Parameter yang dapat diukur dengan alat ini adalah CO, CO₂, O₂, NO, NO_x, SO₂ serta suhu dari bahan bakar dan ruang bakar.

Particulate Matter

Particulate matter merupakan kata yang menjurus pada partikel cair atau padat di udara. Sifat fisika dan kimia dari partikel bervariasi bergantung pada sumber penyusunnya yang terdiri dari ratusan bahan kimia yang berbeda. Berdasarkan sumbernya, partikel terdiri dari:

- a) Partikel primer, yaitu partikel yang langsung terbentuk tanpa adanya reaksi seperti pada lokasi konstruksi, cerobong asap, jalan beraspal serta pada saat kebakaran
- b) Partikel sekunder, yaitu partikel yang terbentuk dari reaksi substansi kimia di atmosfer seperti nitrogen oksida (NO_x) dan sulfur oksida (SO_x).

Berdasarkan ukurannya, partikulat dibagi menjadi partikel kasar yang memiliki diameter 2,5-10 µm dan partikel halus dengan diameter <2,5 µm. Partikel kasar (PM10) berasal dari proses mekanik seperti penggilingan dan abrasi serta suspensi debu. Partikel halus (PM2,5) berasal dari gas dan kondensasi uap selama pembakaran.

Paparan partikulat yang terakumulasi dapat menyebabkan berbagai dampak negatif, yaitu pada kesehatan manusia dan lingkungan. Partikulat memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga mampu mencapai bagian dalam paru-paru dan masuk dalam peredaran darah sehingga dapat menyebabkan penyakit seperti gangguan pernafasan, asma, penurunan fungsi paru-paru, kanker paru-paru serta berakibat pada kematian dini. Pada lingkungan, partikulat halus dapat mengotori udara pada lingkungan dan dengan adanya partikulat dengan pH > 9 akan menyebabkan kerusakan jaringan pada daun dan

menghalangi sinar matahari pada daun yang membutuhkannya dalam fotosintesis.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Variabel tetap pada penelitian ini adalah ukuran membran sepanjang 5 cm bahan penyusun membran keramik berupa tanah liat, zeolit, dan gipsum, dan pengukuran pada kondisi idle dengan putaran mesin 1500 rpm. Variabel bebasnya terdiri atas komposisi dari bahan baku pembuatan membran dan waktu pengambilan sampel yakni 10, 20 dan 30 menit.

Bahan yang digunakan yakni tanah liat, gypsum, zeolite, air dan emisi kendaraan bermotor. Alat yang digunakan yaitu

- a) Knalpot sebagai media penelitian dan pengujian.
- b) Gelas ukur 100 ml untuk mengukur penambahan air.
- c) Furnace untuk membakar tanah liat.
- d) Neraca analitik untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan.
- e) Penggaris untuk mengukur dimensi membran.
- f) Mortar untuk menghancurkan dan menghaluskan.
- g) Pipa besi Ø ½ inch dan plastik untuk mencetak membran keramik.
- h) Digital stopwatch untuk pengukuran waktu pengambilan sampel.
- i) Ayakan berukuran 125µm untuk menyaring bahan baku yang telah dihaluskan.
- j) Baskom sebagai media pencampuran bahan pembuatan membran keramik
- k) *Portable Emission Analyzer* seri E4500 *Hand-Held Emissions Analyzer* untuk mengukur kadar emisi karbon monoksida.

Prosedur Percobaan

1. Pengadaan Bahan Baku

Bahan baku berupa tanah liat didapatkan dengan cara membeli dari tempat pembuatan tembikar, gipsum dari toko bangunan, dan zeolit dari toko bahan kimia. Sedangkan emisi didapatkan dari motor Yamaha Jupiter MX tahun 2009 dengan bahan bakar bensin dan kondisi motor belum diservis selama satu tahun terakhir.

2. Pembuatan Membran Keramik

Menyiapkan tanah liat dengan komposisi tetap yakni 50% dari berat keseluruhan dan komposisi gipsum dan zeolit yang divariasikan (variable penelitian) dengan masing-masing komposisi :

- a) Tanah liat 20 gram, zeolit 10 gram, dan gipsum 10 gram.

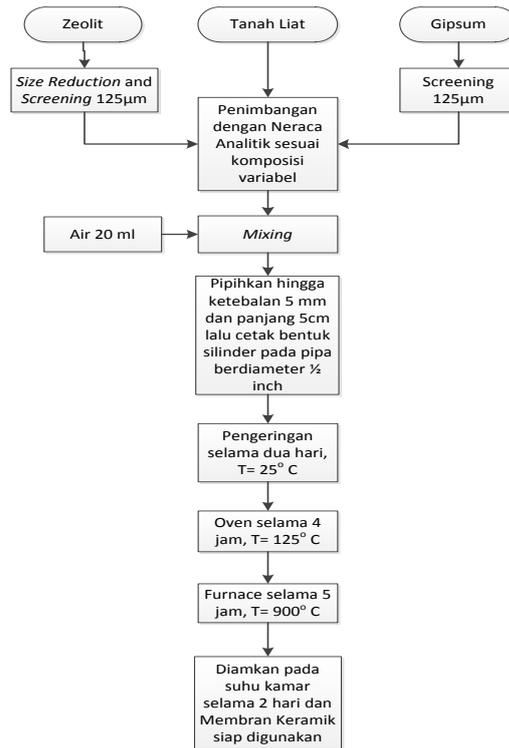
- b) Tanah liat 20 gram, zeolit 15 gram, dan gipsum 5 gram.
- c) Tanah liat 20 gram, zeolit 5 gram, dan gipsum 15 gram.

Sebelum mencampurkan ketiga bahan tersebut, zeolit dihancurkan dan dihaluskan menggunakan mortar terlebih dahulu kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 125 μm . Begitu juga dengan gypsum. Hal ini bertujuan agar didapatkan hasil permukaan membran yang lebih rata dan mulus serta daya serap yang lebih baik. Tanah liat ditimbang sebanyak 20 gram lalu diuleni di dalam baskom, kemudian tambahkan zeolit dan air sebanyak 10 ml secara perlahan lahan sambil diuleni. Bila sudah tercampur rata, campurkan gipsum dan air yang tersisa kemudian uleni kembali hingga rata.

Adonan membran yang sudah rata dimasukkan ke dalam plastik kemudian dipipihkan menggunakan pipa besi berdiameter $\frac{1}{2}$ inch hingga berketebalan 6 mm dengan panjang 5 cm. Lepaskan adonan membran dari plastik lalu lingkarkan adonan tersebut pada pipa besi. Lepaskan adonan perlahan-lahan dari besi dengan cara mendorongnya. Diamkan adonan membran yang telah berbentuk silinder tersebut pada suhu ruangan selama dua hari. Oven membrane pada suhu 125°C selama empat jam lalu dibakar pada furnace selama lima jam dengan suhu 900°C. Dinginkan membran hingga dua hari pada suhu kamar dan membran keramik siap digunakan.

3. Pengukuran Sampel

- a) Menghidupkan mesin dan menarik gas hingga menaikkan putaran mesinnya menjadi 2500 rpm selama 60 detik, kemudian lepaskan gas dan biarkan mesin tetap menyala (idle).
- b) Menyalakan alat analisa gas *Portable Emission Analyzer* seri E4500 *Hand-Held Emissions Analyzer* untuk mengukur kadar emisi CO.
- c) Melakukan pengukuran awal kadar emisi CO tanpa membran pada kondisi idle (1500 rpm) kemudian, catat hasil pengukurannya.
- d) Memasang membran keramik pada sekat knalpot yang akan diuji.
- e) Melakukan pengukuran kadar emisi CO pada knalpot yang telah dipasang membran setelah 10 menit pertama kemudian, catat hasil pengukurannya
- f) Lakukan kembali langkah d) dan e) untuk setiap variasi komposisi membran keramik dan waktu pengambilan sampel.

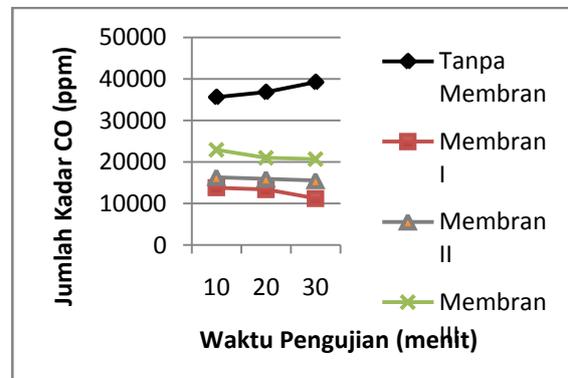


Gambar 1. Diagram Alir Proses pembuatan Membran Keramik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Penggunaan Membran terhadap Emisi CO

Penelitian pengaruh penggunaan membran terhadap emisi karbon monoksida ini dilakukan dengan pengukuran dan analisa menggunakan alat *Portable Emission Analyzer* seri E4500 *Hand-Held Emissions Analyzer* dengan prosedur pengujian sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Hasil penelitian kadar emisi CO menggunakan dua buah membran pada motor Yamaha Jupiter MX Tahun 2009 yang dilakukan pada kondisi Idle, didapat data sebagai berikut:



Gambar 2. Pengaruh Penggunaan Membran terhadap Kadar Emisi CO

Berdasarkan hasil analisa kadar CO pada Tabel 1 dan grafik pada Gambar 2, dapat dilihat kadar CO terus meningkat selama 30 menit dan didapat kadar CO tertinggi 39200 ppm. Setelah menggunakan membran I dengan variasi waktu yang digunakan 10-30 menit, kadar CO yang dihasilkan yaitu 13800 ppm, 13400 ppm dan 11800 ppm. Membran II sebesar 16300 ppm, 15900 ppm, dan 15500 ppm, dan membran III sebesar 22900 ppm, 21000 ppm, dan 20700 ppm.

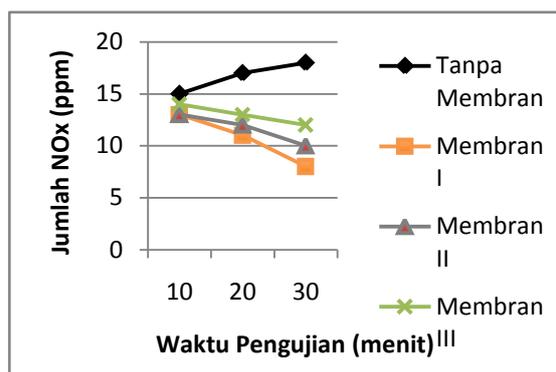
Kadar CO terendah yaitu pada menit ke-30 sebesar 11200 ppm didapatkan setelah menggunakan dua buah membran dengan komposisi Membran I. Membran I mengandung zeolit 37,5% dan gypsum 12,5% memberikan persentase penurunan paling optimal yakni sebesar 71,42% terhadap tanpa penggunaan membran. Persentase penurunan kadar CO setelah menggunakan membran dapat dilihat pada tabel 4.2.

Membran I pada 10 menit pertama menunjukkan penurunan paling signifikan yakni 61,23%. Pada menit ke-20, penurunan terbesar terjadi pada membran III sebesar 42,93% atau 8,2% lebih besar dari menit sebelumnya. Sedangkan penurunan yang diberikan membran II konstan 2,5% tiap 10 menitnya. Pada menit ke-30, membran I memberikan persentase penurunan terbesar diantara ketiga membran yakni 71,42% atau 16,41% lebih besar dari menit sebelumnya.

Pengaruh Penggunaan Membran terhadap Kadar NO_x

Pengujian kadar nitrogen oksida (NO_x) tanpa penggunaan membrane terus meningkat selama 30 menit pengujian dan didapatkan kadar tertinggi 18 ppm. Setelah penggunaan membran keramik, kadar NO_x menurun berdasarkan data tabel 2. Hasil kadar NO_x setelah menggunakan membran I yaitu 13 ppm, 11 ppm dan 8 ppm. Membran II sebesar 13 ppm, 12 ppm dan 10 ppm serta membrane III yaitu 14 ppm, 13 ppm dan 12 ppm. Kadar NO_x terendah yang didapatkan yaitu 8 ppm menggunakan membran I dengan komposisi zeolite sebesar 37,5%.

Membran dengan komposisi zat aditif zeolit tinggi, memberikan pengaruh yang lebih optimal dalam penyaringan gas nitrogen oksida seperti pada grafik gambar 3 dibawah ini. Zeolit dengan komposisi 25% pada membran II tidak memberikan penurunan yang signifikan terhadap kadar gas NO_x begitu pula dengan membran III yang komposisinya hanya 5%.



Gambar 3. Pengaruh Penggunaan Membran terhadap Kadar Emisi NO_x

Fluks Membran terhadap kadar CO dan NO_x

Fluks atau kecepatan permeasi yang dapat diartikan sebagai volume yang melewati membran persatuan luas dalam satuan waktu tertentu dengan adanya gaya penggerak berupa tekanan yang tergantung pada jumlah dan ukuran pori. Permeabilitas membran dilihat dari nilai fluks. Semakin besar ukuran pori-pori membran menunjukkan bahwa volume yang dihasilkan sebagai nilai fluks juga besar.

Tabel 1. Hasil perhitungan luas fluks membran pada analisa gas CO

Sampel	Volume permeate pada t (min)		
	10	20	30
Membrane I	44.09013	21.40608	11.92777
Membrane II	52.07748	25.39975	16.50718
Membrane III	73.16406	33.54684	22.04507

Tabel 2. Hasil perhitungan luas fluks membran pada analisa gas NO_x

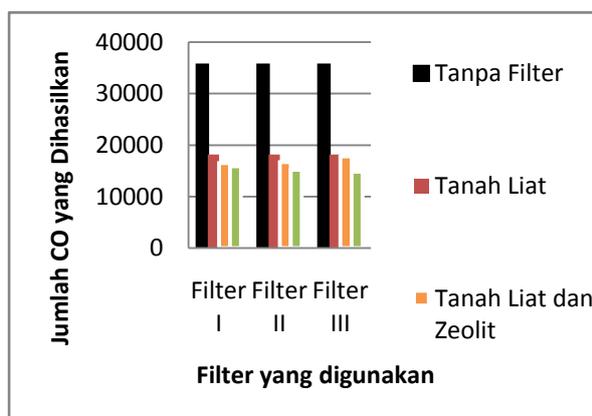
Sampel	Volume Permeat pada t (min)		
	10	20	30
Membran I	0.04153	0.01757	0.00852
Membran II	0.04153	0.01917	0.01065
Membran III	0.04473	0.02077	0.01278

Pengaruh Komposisi Membran pada Penurunan Kadar CO

Tanah liat merupakan bahan dasar pembuatan keramik sehingga komposisi sebesar 50% itu untuk menjaga bentuknya agar tetap *rigid*. Zeolite sebagai bahan aditif dan gypsum sebagai aditif dan perekat yang memiliki sifat tahan panas, komposisinya divariasikan agar didapatkan

membran dengan permeal terbaik. Berbentuk silinder dengan panjang 5 cm, tebal 5 mm dan total luas dua permukaan membran 31.29952 cm² memberikan desain yang lebih tipis, aplikatif, dan lebih efisien dalam menyaring dan menurunkan kadar CO.

Pengaruh komposisi membran terhadap penurunan kadar CO diuji dengan penambahan bahan baku membran keramik yang berupa serbuk dengan ukuran 125 µm secara bertahap. Dari tabel 2, terlihat bahwa penambahan gypsum pada filter III sebanyak 37,5%, menunjang terjadinya penyaringan gas CO tertinggi dengan kadar 14800 ppm.

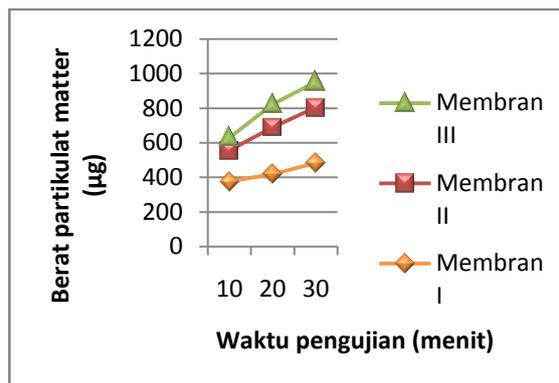


Gambar 4. Pengaruh Komposisi Membran terhadap Penurunan Kadar CO

Filter I dengan penambahan zeolit 37,5% memberikan penurunan kadar CO sebesar 1700 ppm. Filter II mengandung zeolit dan gypsum masing-masing 25% memberikan penurunan kadar CO konstan pada 1500 ppm. Filter III dengan penambahan gypsum 37,5% memberikan penurunan kadar CO sebesar 3000 ppm. Zat aditif yang dicampurkan dalam pembuatan membran keramik sangat berperan penting dalam menurunkan kadar emisi gas CO. Komposisi yang baik sangat dibutuhkan agar penyaringan gas CO dapat dilakukan secara optimal.

Pengaruh Penyaringan CO terhadap Berat Membran dan Partikulat Matter

Membran dapat digunakan untuk menanggulangi kadar CO dan NO_x di udara yang dihasilkan oleh pembakaran kendaraan bermotor. Analisa berat membran yang dilakukan sebelum dan setelah pengujian bertujuan untuk memastikan adanya gas CO dan NO_x yang terserap pada membran. Berdasarkan Tabel 2 analisa berat membran sebelum dan sesudah pengujian, memberikan total selisih berat membran I sebesar 2,2808 gram, membran II 2,5101 gram dan membran III 0,8842 gram.



Gambar 5. Partikulat Matter pada membran.

Berdasarkan hasil analisa berat dan *particulate matter* yang tersaring oleh membran pada tabel 2 dan gambar 5 menunjukkan bahwa partikulat yang tersaring menambah berat membran seiring lamanya waktu pengujian. Dengan waktu pengujian 10, 20 dan 30 menit, partikulat yang tersaring pada membran I adalah 377.0446 µg, 419.5874 µg dan 483.4603 µg. Pada membran II adalah 178.9649 µg, 269.706 µg dan 320.556 µg. dan membran III adalah 72.9856 µg, 133.8209 µg dan 148.3878 µg. Membran I dengan waktu pengujian selama 30 menit menyaring partikulat paling besar sebanyak 483.4603 µg. Hal ini menyatakan bahwa penggunaan membran I dapat menyaring emisi kendaraan bermotor lebih banyak dibandingkan dengan membran II dan III.

4. KESIMPULAN

1. Membran keramik berbasis gypsum dan zeolit dapat menurunkan kadar CO dan NO_x dengan cara menyaring emisi kendaraan bermotor
2. Komposisi membran yang paling baik yaitu membran I dengan komposisi zeolit 37,5 % dan gypsum 12,5 % dengan penurunan CO sebesar 71,42% dan NO_x sebesar 55,55% pada waktu pengujian 30 menit
3. Membran I dengan waktu pengujian selama 30 menit menyaring partikulat tertinggi sebanyak 483.4603 µg dan total berat membran bertambah 2,2808 gr.

DAFTAR PUSTAKA

- Haryanto, D dkk. 2010. *Pengaruh Pemasangan Gypsum pada Knalpot dan Putaran Mesin terhadap Kadar Emisi Gas Buang CO pada Motor Yamaha Mio AT Tahun 2010*. Jurnal: FKIP UNS, Semarang.

- Okta, T. 2012. *Adsorpsi H₂S pada Gas Alam Menggunakan Membran Keramik dengan Metode Titrasi Iodometri*. Jurnal: UNSRI, Palembang.
- Dahlan, Hatta dkk. 2010. *Pengaruh Penggunaan Membran Keramik Berbasis Zeolit, Silika, dan Karbon Aktif Terhadap Gas CO dan CO₂ pada Gas Buang Kendaraan Bermotor*. Jurnal: UNSRI, Palembang.
- Sunaryo. 2009. *Pengembangan Bahan Membran Keramik untuk Peningkatan Kualitas Air Minum*. Jurnal: UNJ. Jakarta.
- Zulfa, A. 2011. *Uji Adsorpsi Gas CO Menggunakan Zeolit Alam Malang dan Lampung*. Jurnal: UI, Depok.