

PERANCANGAN BED REACTOR ZEOLIT JENIS ALIRAN TURBULEN SEBAGAI ALAT PENYERAP POLUTAN GAS ASAP PADA MOTOR BAKAR BENSIN

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Sarjana pada Program Studi Teknik Mesin



Oleh :

Nama : Khaidir
NPM : 15.813.0086

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Perancangan Bed Reactor Zeolit Jenis Aliran Turbulen Sebagai Alat
Penyerap Polutan Gas Asap Pada Motor Bakar Bensin.

Nama : Khandir

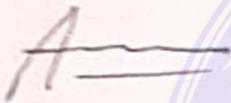
NPM : 158130086

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

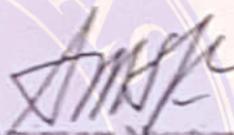
Disetujui Oleh Komisi Pembimbing

Pembimbing I



(Ir. H. Amru Siregar, MT.)
NIDN : 0022065901

Pembimbing II



(Ir. H. Amirsyam Nasution, MT.)
NIDN : 0025125606

Mengetahui :

Dekan



(Dr. G. H. Haswita Harahap, ST, MT)
NIDN : 0124127101

Ka Prodi Teknik Mesin



(Zulfikar, ST, MT)
NIDN : 00207327307

Tanggal Lulus : 15 Februari 2020

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa Skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam Skripsi ini.



Medan, Februari 2020

METERAI
TUMPIL
6000
RUPIAH
Khaidir
158130086

ABSTRAK

Khaidir, NPM 158130086 “Perancangan Bed Reactor Zeolit Jenis Aliran Turbulen Sebagai Alat Penyerap Polutan Gas Asap Pada Motor Bakar Bensin”. Dibimbing oleh Bapak Ir.H.Amru Siregar, MT dan Ir. H.Amirsyam nasution, MT

Mineral Zeolit alam merupakan sekelompok mineral yang terdiri dari oksida-oksida Al_2O_3 , SiO_3 , Fe_2O_3 , CaO , dan MgO . Mineral-mineral penyusun zeolite ini terdapat dalam batuan sedimen, terutama mineral-mineral yang berasal dari kelompok alumina dan silikat. Butiran-butiran zeolit yang telah diaktifkan dapat menyerap gas-gas beracun seperti NO , CO , SO_2 , H_2S , dan lain-lain. Oleh karena itu serbuk zeolit ini dapat digunakan sebagai bahan penyerap (*adsorbent*) polutan gas dari gas asap mesin otomotif. Zeolit alam sebagai bahan adsorpsi memerlukan alat bantu, dalam hal ini disebut dengan bed reactor. Alat bed reactor ini dipasang di ujung knalpot mesin otomotif sedemikian rupa sehingga gas asap yang keluar dari knalpot mesin otomotif mengalir kedalam bed reactor dan selanjutnya melalui bola-bola berjaring dan kontak dengan butiran serbuk zeolit. Daya serap bed reactor terhadap gas-gas CO , CO_2 , dan HC diukur dengan menggunakan smoke tester jenis SPTC anycar auto chek gas & smoke versi 1.5.1. E-1. Analisa hasil pengukuran dinyatakan dalam jumlah % volume untuk gas CO dan gas CO_2 . Sedangkan untuk gas HC dalam satuan PPM. Keefektipan bed reactor ini dipengaruhi oleh beberapa faktor a.l ; perlakuan terhadap zeolit, ukuran besar butir zeolit, luas permukaan kontak zeolit dengan gas asap, dan jenis aliran gas asap. Luas permukaan kontak antara zeolit dengan gas asap merupakan satu parameter yang menentukan daya adsorpsi dari zeolit alam ini. Semakin besar permukaan sentuh antara gas asap dengan zeolit maka akan semakin besar polutan gas asap teradsorpsi. Agar keadaan ini dapat terjadi maka dibuatlah bed reactor sedemikian rupa, sehingga bed reactor ini memiliki laluan gas asap berbentuk pipa-pipa. Di dalam pipa ini diletakkan bola-bola berlubang, dimana lubang-lubang bola ini ditutup dengan kawat-kawat jaring. Selanjutnya bola-bola berlubang dan berkawat jaring-jaring ini disebut dengan bola berjaring. Bola berjaring ini diisi dengan zeolit yang telah diaktifkan. Ketika gas asap mengalir dalam pipa, maka gas asap masuk ke dalam bola melalui lubang bola berjaring dan sekaligus bola tersebut berguling akibat dorongan gas sap. Akibat berputarnya bola berjaring ini, butiran zeolit ikut berputar. Selanjutnya putaran butiran zeolit itu sendiri dan turbulensi aliran gas bertekanan, maka terjadi persentuhan antara permukaan zeolit dengan gas asap. Keadaan seperti ini akan terjadi adsorpsi polutan gas asap oleh butiran zeolit. Sebagai variabel pada penelitian ini adalah besar butir zeolit yaitu 10 mesh, 20 mesh, dan 40 mesh. Hasil pengujian menunjukkan bed reactor jenis aliran turbulen mempunyai daya serap (adsorpsi) sebesar 53 % untuk gas CO , 52 % untuk gas CO_2 , dan 41 % untuk gas HC , masing-masing untuk besar butir 40 mesh. Demikian pula halnya daya serap (adsorpsi), sebesar 42 % untuk gas CO , 47 % untuk gas CO_2 , dan 35 % untuk gas HC , masing-masing untuk besar butir 10 mesh. Selanjutnya sebesar 33 % untuk gas CO , 33 % untuk gas CO_2 , dan 30 % untuk gas HC , masing-masing untuk besar butir 20 mesh.

Keywords :zeolitalam, bed reactor, adsorpsi, gas asap

ABSTRACT

Khaidir, NPM 158130086 “Designing Zeolite Bed Reactor With Turbulent Flow Type as an Emission Absorber for Gasoline Fuel Motor” Supervised by Ir.H.Amru Siregar, MT dan Ir. H.Amirsyam nasution, MT

Natural Zeolite Mineral is a minerals group which is consisting of some oxides there are Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , and MgO . This zeolite constituent minerals is found in sedimentary rocks, especially minerals originating from alumina and silicate group. The zeolite particles that have been activated can absorb toxic gases such as NO , CO , SO_2 , H_2S , and others. Therefore this zeolite powder can be used as an absorbent material for gas pollutants from the automotive engine emission gas. Natural zeolite as an adsorbent material requires a support tool, in this case it is called the bed reactor. This bed reactor is installed at the end of the automotive engine exhaust in such a way, so that emission gas coming out from the automotive engine exhaust is flows into bed reactor and then through the mesh balls and contacts with the zeolite powder particle. The absorbed and the observed smoke gas pollutants is CO , CO_2 , and HC gases. Absorption of bed reactor against CO , CO_2 , and HC gases is measured using smoke tester with type SPTC anycar Auto Check Gas & Smoke version 1.5.1.E-1. The surface area of the Zeolite which contacted with fumes gas is a parameter that determines the adsorbent power of this natural zeolite. This surface area of contact is also a function of the basic form of bed reactor. In this case the bed reactor designed is a bed reactor a type of turbulent flow. The bed reactor tool of zeolite functioned as a medium of adsorb process assuming that the construction of bed reactor was formed so that there was a touch of smoke gas with the zeolite particles. The larger of the contact surface between the smoke gas and the zeolite, the greater the the adsorption smoke-gas pollutants. In order for this condition can occur then the bed reactor made in such a way, so that the reactor bed has a pipe-shaped smoke gas route. Inside the pipe is placed with perforated balls, where these holes are covered with mesh wires. Next, the perforated and the wire nets balls are called with a mesh ball. This mesh ball is filled with the zeolite that have been activated. When the fumes gas flows in the pipeline, the fumes gas enters the ball through a hole of mesh balls and the ball is rolled up due to the fume gas push. As a result of these mesh balls, zeolite particles are spinning. Furthermore the round of the zeolite particles itself and the turbulence of the pressure gas flow, so there is a contact between the zeolite surface with fumes gas. This Circumstances will be occur a adsorption of fume gas pollutants by the zeolite particles. As a variable on this research is a size of zeolite particle of 10 mesh, 20 mesh, and 40 mesh. The results of the test shows the bed reactor type of turbulent flow has absorbent power is 53% for CO gas, 52% for CO_2 gas, and 41% for HC gas, respectively for particle size is 40 mesh. Similarly, absorption power, amounting to 42% for CO gas, 47% for CO_2 gas, and 35% HC gas, respectively for particle size is 10 mesh. Furthermore, 33% for gas CO , 33% for CO_2 gas, and 30% HC gas, respectively for particle size is 20 mesh.

Keywords : natural zeolite, bed reactor, adsorption, emission gas

RIWAYAT HIDUP

KHAIDIR, lahir di Binjai, pada tanggal 06 April 1976 dari Ayah bernama Alm.Abdul Rahman dan Ibu bernama Susilawati sebagai anak pertama dari empat bersaudara. Menikah pada tahun 2006 dengan Sri Agustina Sembiring, SKM, M.Si dan dikaruniai tiga orang anak, dua putri dan satu putra yaitu Azka Nadhira, Muhammad Fawwaz dan Meutya Ramadhani.

Pendidikan dasar di SD swasta Ahmad Yani lulus tahun 1988, melanjutkan ke SMP swasta Taman Siswa Binjai, lulus tahun 1991. Pendidikan SMA diselesaikan tahun 1994 di SMA Negeri 2 Binjai. Pada tahun 1994 melanjutkan ke jenjang pendidikan Diploma (D3) masuk ke Politeknik Syiah Kuala jurusan Teknik Mesin, lulus tahun 1997. Pada tahun 2015 melanjutkan program study strata (S1) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin.

Penulis telah mulai bekerja dan hingga saat ini dengan beberapa pengalaman sebagai berikut:

- 1998 - 2004 : Supervisor Kontraktor Tower Aceh
- 2005 – 2006 :Field Monitor Water and Sanitation World Vision International Banda Aceh
- 2006 - 2007 : Field Monitor Islamic Relief Banda Aceh
- 2011 - 2013 : PNS BAPPEDALDA Kabupaten Aceh Singkil
- 2013-Sekarang: PNS Dinas Pengairan Umum Kota Binjai



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Khaidir
NPM : 158130086
Program Studi : Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : ~~Tugas Akhir/Skripsi/Tesis~~

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non eksklusif (Non-Exclusive-Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul **PERANCANGAN BED REACTOR ZEOLIT JENIS ALIRAN TURBULEN SEBAGAI ALAT PENYERAP POLUTAN GAS ASAP PADA MOTOR BAKAR BENSIN.**

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (Data Base), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di ; Medan
Pada tanggal : 28 Februari 2020
Yang Menyatakan,

(Khaidir)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kepada Allah Swt yang telah memberikan waktu, petunjuk, kesehatan dan kemampuan sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini merupakan upaya untuk memberikan kontribusi kepada pembangunan dalam rangka menambah hasanah ilmu pengetahuan dan Teknologi khususnya dalam bidang persoalan polusi udara yang merupakan salah satu permasalahan global saat ini.

Penulis sangat berharap jika hasil tugas ini dapat bermanfaat pada masyarakat yang memerlukannya, khususnya pada masyarakat yang selalu menggunakan mesin motor otomotif yang menghasilkan polutan gas asap. Tugas akhir ini tentunya belum sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat berharap adanya masukan dan saran-saran untuk kesempurnaan penelitian ini dari para ahli dan pembaca yang budiman dan untuk itu saya ucapkan banyak terima kasih.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi bantuan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik, khususnya kepada :

1. Ibu Dr. Grace Yuswita Harahap, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
2. Bapak Ir. Amru Siregar, MT. selaku dosen pembimbing I pada skripsi ini, yang telah memberikan arahan dan bimbingan dari awal hingga selesainya tugas sarjana ini.
3. Bapak Ir. Amirsyam Nasution, MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan semangat dan bimbingan pada skripsi ini.
4. Bapak Zulfikar, ST, MT selaku Ketua program Studi Teknik Mesin serta seluruh staf pengajar Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
5. Keluarga Besarku khususnya Istri Sri Agustina Sembiring, SKM, M.Si dan anak-anakku Dira, Fawwaz dan Meutya yang menjadi semangat dalam menyelesaikan studi .
6. Seluruh staf Pegawai administrasi Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

7. Teman-teman PU Kota Binjai yang telah mendukung dalam menyelesaikan studi.

Akhir kata semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan untuk perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dimasa yang akan datang, Amiiin.

Medan, Februari 2020

Penulis

Khaidir



DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--------------------------|---------|
| HALAMAN SAMPUL..... | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| RINGKASAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |

| | |
|--|-----|
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR TABEL | vi |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR LAMPIRAN | vii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Urgensi Penelitian | 3 |
| 1.3 Target Capaian | 4 |
| | |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 5 |
| 2.2 Landasan Teori | 7 |
| 2.2.1 Proses Aktivasi | 8 |
| 2.2.2 Pembakaran Hidrokarbon | 9 |
| | |
| BAB 3 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN | 10 |
| 3.1 Tujuan Penelitian | 10 |
| 3.2 Manfaa Penelitian | 11 |
| | |
| BAB 4 METODE PENELITIAN | 12 |
| 4.1. Alat dan Bahan Penelitian | 12 |
| 4.2. Prosedur Penelitian | 13 |
| 4.3. Diagram alir penelitian | 13 |
| 4.4. Penyediaan dan Pengolahan zeolit | 14 |
| 4.5. Perancangan dan Pembuatan bed reactor | 16 |
| 4.6. Pengujian daya adsorpsi | 20 |
| 4.7. Variabel Pengujian | 21 |
| | |
| BAB 5 HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI | 22 |
| 5.1 Rancangan Bed Reactor | 22 |
| 5.2 Adsorpsi Bed Reactor | 25 |
| 5.3 Pembahasan Perancangan dan Pengujian | 31 |
| | |
| BAB 6 RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA | 33 |
| BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN | 34 |
| DAFTAR PUSTAKA | 35 |

DAFTAR TABEL

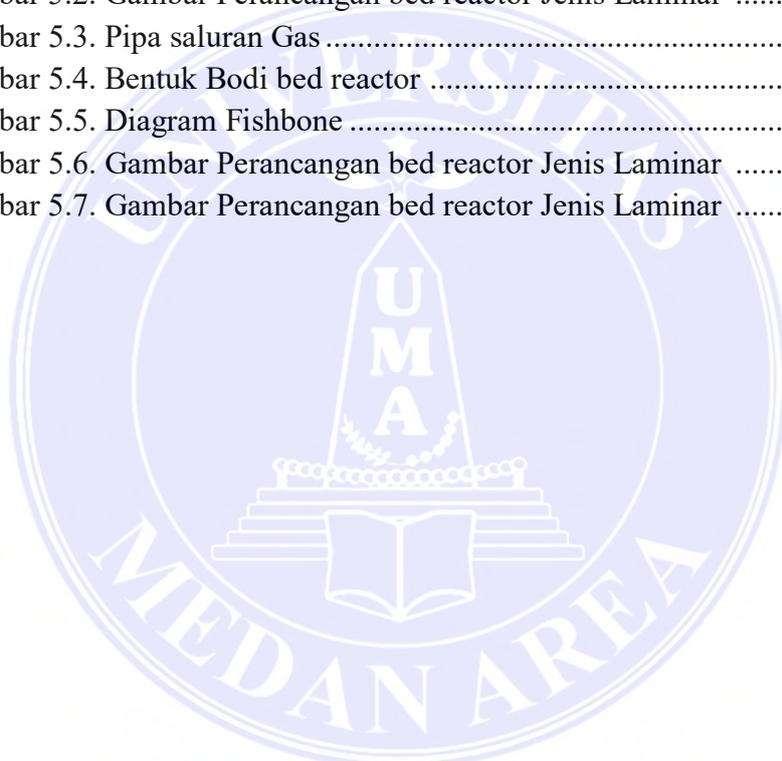
| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 1.1. Target Capaian Tahunan | 4 |
| Tabel 5.1. Kemampuan adsorpsi zeolit untuk gas CO (%) | 25 |
| Tabel 5.2. Kemampuan adsorpsi zeolit untuk gas CO ₂ (%) | 27 |
| Tabel 5.2. Kemampuan adsorpsi zeolit untuk gas HC (%) | 29 |



DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| 1. Gambar 2.1. Bed Reactor bentuk aliran Laminar | 6 |
| 2. Gambar 2.2. Bed Reactor bentuk aliran Laminar | 7 |
| 3. Gambar 4.1. Smoke test meter | 13 |
| 4. Gambar 4.2. Diagram alir Penelitian | 14 |
| 5. Gambar 4.3. Kemasan Zeolit Alam..... | 15 |
| 6. Gambar 4.4. Mesin Pemecah Batu..... | 16 |

| | |
|--|----|
| 8. Gambar 4.5. Mesin Pengayak otomatis | 16 |
| 9. Gambar 4.2. Butiran Zeolit Hasil Pengayaan..... | 16 |
| 10. Gambar 4.3 Proses pengaktifan butiran Zeolit | 17 |
| 11. Gambar 4.4. Body Reactor | 18 |
| 12. Gambar 4.5. Bentuk bagian dalam body bed reactor | 18 |
| 13. Gambar 4.6. Bola-bola yang berongga | 19 |
| 14. Gambar 4.7. Jaring-Jaring bola | 20 |
| 15. Gambar 4.8. Pipa saluran Gas | 20 |
| 16. Gambar 4.9. Bentuk Bodi bed reactor | 21 |
| 17. Gambar 4.10. Diagram Fishbone | 22 |
| 18. Gambar 5.1. Gambar Perancangan bed reactor Jenis Laminar | 24 |
| 19. Gambar 5.2. Gambar Perancangan bed reactor Jenis Laminar | 24 |
| 20. Gambar 5.3. Pipa saluran Gas | 20 |
| 21. Gambar 5.4. Bentuk Bodi bed reactor | 21 |
| 22. Gambar 5.5. Diagram Fishbone | 22 |
| 23. Gambar 5.6. Gambar Perancangan bed reactor Jenis Laminar | 24 |
| 24. Gambar 5.7. Gambar Perancangan bed reactor Jenis Laminar | 24 |



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu sumber polusi udara yang terbesar adalah akibat pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna di dalam mesin otomotif. Gas asap yang dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna pada mesin otomotif mengandung karbon monoksida, dan hidrokarbon, terutama pada mesin otomotif jenis motor bakar otto. Mesin kendaraan roda empat yang dipergunakan dikota-kota besar, umumnya menggunakan motor bakar Otto. Terjadinya pembakaran tidak sempurna pada mesin otomotif juga dipengaruhi oleh usia pemakaian mesin otomotif. Oleh karena itu semakin lama usia mesin otomotif tersebut akan semakin besar polutan gas asap yang dihasilkan.

Polutan gas asap sangat berbahaya bagi kehidupan manusia. Gas asap mesin otomotif akan bergerak dengan cepat ke berbagai tempat, sehingga akan mengakibatkan polusi udara. Polusi udara merupakan salah satu masalah lingkungan hidup secara global saat ini. Baik manusia maupun hewan akan menyerap gas karbon monoksida (CO) melalui paru-paru, dimana gas CO ini jika bereaksi dengan haemoglobin dalam darah akan membentuk karbon monoksida haemoglobin (COHb). Haemoglobin mempunyai kemampuan mengikat gas karbon monoksida (CO) sebesar 200 kali lebih kuat dari pada oksigen (O₂), sehingga adanya gas CO ini dapat mencegah pendistribusian oksigen oleh darah ke seluruh tubuh. Selain hal itu dapat mengakibatkan gangguan jantung, (Purdom, dkk., 1983). Oleh karena untuk mengurangi masalah polusi udara yang diakibatkan gas asap mesin otomotif diperlukan alat yang dapat memberikan kontribusi terhadap pengurangan polutan gas asap tersebut.

Mineral zeolit merupakan salah satu jenis mineral yang ditemukan di

alam. Mineral zeolit alam terdiri dari oksida-oksida, Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO dan MgO . Sebagian dari penyusun mineral zeolit ini terdapat dalam batuan-batuan sedimen, terutama kristal-kristal dari kelompok alumina dan silikat. Pemanfaatan zeolit alam telah banyak digunakan dalam bidang-bidang; industri, pertanian, peternakan maupun lingkungan hidup, (Tsishvili, 1992). Zeolit juga digunakan sebagai katalis, pengisi kertas, cat, bahan semen pozzolan dan portland, agregat ringan, pupuk, pencegah polusi akibat limbah industri, penyerap dalam proses pemurnian pada pembuatan gas-gas, seperti oksigen, nitrogen, metana dan pengikat amoniak. (Sarno, 1983). Zeolit alam yang telah diaktifkan dapat menyerap gas-gas asap dari cerobong pabrik, gas buang mesin kendaraan bermotor yang mengandung gas beracun CO , NO , SO_2 , dan logam berat Timbal (Pb). Demikian pula halnya dengan grey water dapat dijernihkan dengan alat yang mengandung *zeolite molecular sieve* (ZMS) dengan baik.

Oleh karena banyaknya kegunaan zeolit ini, maka pada tahun 1949 Milton membuat zeolit sintetis sebagai pengganti zeolit alam. Pembuatan zeolit ini sangat berkembang dan bervariasi terutama dalam hal perbandingan komposisi antara SiO_2 dan Al_2O_3 . Penggunaan zeolit sintetis dibidang industri umumnya meliputi pengolahan petroleum, petrokimia, sintesa kimia dan kontrol polusi, (Vaughan, 1979). Begitu pula halnya zeolit alam, dengan kemurnian yang tinggi dan jumlah deposit yang banyak mempunyai nilai komersial dan potensial. Keuntungan pemanfaatan zeolit alam ini adalah biaya yang murah karena dijumpainya deposit zeolit alam yang mudah. Di Indonesia menurut ahli geologi terdapat 46 lokasi endapan zeolit alam, salah satunya terdapat di desa Sarula, Kabupaten Tapanuli Utara, Propinsi Sumatera Utara.

Alat yang dapat menyerap polutan gas asap mesin otomotif ini disebut dengan *bed reactor* (BR) dengan zeolit sebagai bahan adsorbent. Bentuk BR zeolit ini adalah

sedemikian rupa, sehingga mempunyai rongga-rongga yang dapat diisi dengan butiran-butiran zeolit dan dipasangkan diujung knalpot mesin otomotif. Rongga-rongga BR yang berisi butiran-butiran zeolit ini dialiri gas asap yang berasal dari mesin otomotif. Akibat adanya persentukan antara gas asap dengan butiran-butiran zeolit, atau gas asap mengalir melalui atau masuk pori-pori butiran zeolit, maka terjadi penyerapan gas-gas polutan dari gas asap.

Polutan gas asap yang diserap BR diukur dengan alat smoke tester jenis SPTC anycar auto chek gas & smoke versi 1.5.1.E-1. Smoke tester ini dapat mendeteksi gas-gas CO, CO₂, dan HC yang diserap oleh BR. Oleh karena itu efektifitas BR zeolit alam diukur berdasarkan kemampuannya untuk menyerap gas CO, CO₂, dan HC.

Pada tugas akhir ini telah dirancang bentuk geometris BR jenis aliran turbulen dan telah diuji kemampuan penyerapannya (adsorpsi). Bentuk geometris BR, selain memiliki daya serap polutan gas yang maksimal, juga bentuknya mudah dipasang pada ujung knalpot mesin otomotif, dan alat BR tersebut tidak akan mengurangi daya maupun kecepatan dari mesin otomotif tersebut. Daya serap bed reactor selain dipengaruhi oleh bentuk geometris, juga dipengaruhi oleh ukuran besar butir (mesh) dan jumlah (massa) dari zeolite.

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian kemampuan penyerapan (adsorpsi) bed reactor untuk gas-gas CO, CO₂, dan HC. Sebagai variabel pada pengujian ini adalah besar butir zeolit yaitu 10 mesh, 20 mesh, dan 40 mesh. Pengujian dilakukan untuk bed reactor jenis aliran turbulen. Sehingga hasil yang diperoleh pada penelitian tahun pertama adalah besar butir zeolit alam yang mempunyai daya serap (adsorpsi) yang tertinggi untuk bed reactor jenis aliran turbulen.

1.2. Tujuan Penelitian

Pada bagian sebelumnya telah dijelaskan bahwa untuk mengurangi polusi udara akibat gas asap mesin otomotif dapat dimanfaatkan zeolit alam sebagai adsorben. Zeolit alam ini akan dapat berfungsi sebagai adsorbent jika tersedianya media yang dapat membuat terjadinya proses adsorpsi antara polutan gas asap dengan zeolit alam. Alat penyerap polutan gas asap ini disebut dengan bed reactor (BR), yaitu sebuah alat yang dibentuk sedemikian rupa sehingga memiliki ruangan atau rongga-rongga yang dapat diisi dengan butiran zeolit. Keberadaan butir-butir zeolit pada rongga ini akan bersentuhan dengan gas asap kendaraan bermotor yang sedang mengalir pada rongga tersebut. Keadaan yang demikian ini memberikan kemungkinan terjadinya penyerapan gas-gas polutan yang terdapat pada gas asap kendaraan bermotor tersebut. Pada penelitian ini akan dirancang bed reactor yang digunakan pada kendaraan roda empat. Dalam perancangan bed reactor ini akan dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut :

Pada tugas akhir ini akan dirancang alat bed reactor yaitu bed reactor jenis aliran turbulen. Jenis bed reactor akan diuji kemampuannya untuk menyerap polutan gas asap dengan variabel besar butiran zeolit alam. Variasi besar butiran zeolit yang dilakukan adalah 10 mesh, 20 mesh, dan 40 mesh. Dengan demikian variabel perancangan pada penelitian ini adalah besar butiran zeolit alam untuk bed reactor jenis aliran turbulen. Kombinasi besar butiran zeolit alam yang memiliki adsorpsi yang paling baik merupakan hasil penelitian pada tugas akhir ini.

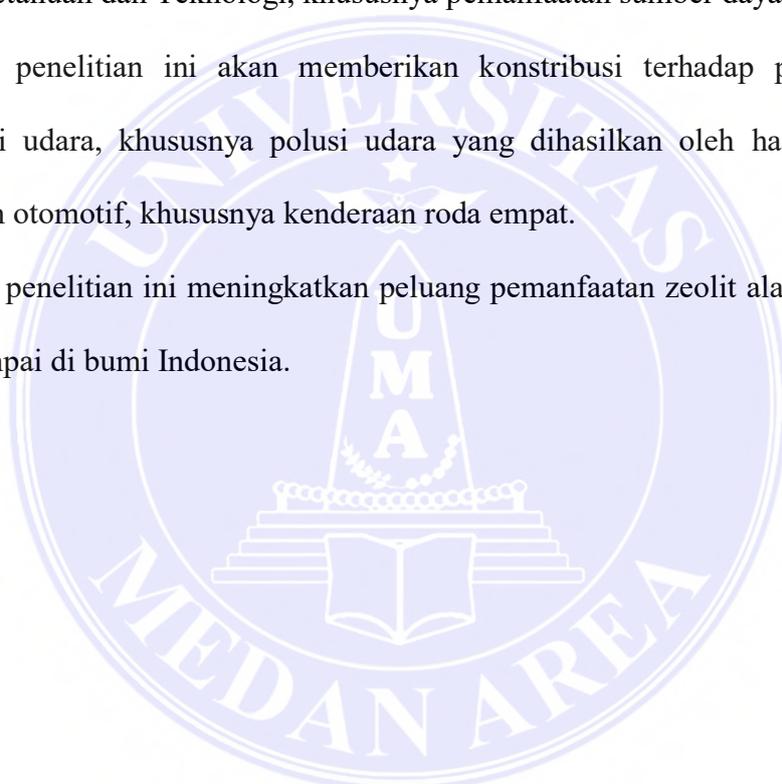
1.3. Manfaat Penelitian

Polusi udara merupakan salah satu persoalan yang mengglobal saat ini, dan sangat perlu dicari cara penanggulangannya. Gas asap yang dihasilkan oleh kendaraan otomotif merupakan salah satu bahagian yang memberi kontribusi terhadap polusi

udara. Penelitian ini merupakan salah usaha dalam rangka penanggulangan masalah polusi yang dihasilkan oleh mesin otomotif, khususnya kendaraan roda empat. Pada penelitian ini dirancang prototype alat bed reactor zeolit yang dipasang pada knalpot kendaraan roda empat.

Dengan demikian hasil penelitian ini akan memberikan manfaat terhadap :

1. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi terhadap perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, khususnya pemanfaatan sumber daya alam.
2. Hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi terhadap penanggulangan polusi udara, khususnya polusi udara yang dihasilkan oleh hasil pembakaran mesin otomotif, khususnya kendaraan roda empat.
3. Hasil penelitian ini meningkatkan peluang pemanfaatan zeolit alam yang banyak dijumpai di bumi Indonesia.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Aktivasi zeolit alam dengan asam HCl yang konsentrasinya bervariasi berpengaruh daya adsorpsinya terhadap Ca^{2+} , hal ini telah diteliti oleh Pardoyo dkk. (2009). Hasil penelitian menunjukkan tingkat kristalinitas relatif mengalami penurunan. Penurunan kristalinitas zeolit ini cenderung mengakibatkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap ion logam Ca^{2+} mengalami peningkatan.

Gas karbondioksida (CO_2) yang terkandung pada biogas berpengaruh terhadap menurunnya nilai kalor pada proses pembakaran, sehingga diperlukan suatu proses untuk memisahkan kandungan gas CO_2 tersebut. Salah satu bahan *adsorbent* yang dapat digunakan untuk mengurangi kandungan gas CO_2 adalah zeolit Alam. Perbedaan ukuran butir zeolit dapat mempengaruhi hasil persentase penyerapan kandungan gas karbondioksida pada biogas. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata penurunan kandungan CO_2 adalah 3.80 % untuk ukuran butir 60 mesh, 2.28 % untuk ukuran butir 16 mesh, dan 2.02 % untuk ukuran butir 5 mesh. (Yamliha, dkk. 2013).

Penggunaan zeolit alam sebagai bahan penyerap gas CO pada gas asap yang berasal dari kebakaran telah diteliti oleh Yuliusman dkk. (2010). Zeolit alam yang telah diaktivasi dengan proses fisika maupun kimia, mampu mengadsorpsi gas CO sampai 6,25% pada konsentrasi awal CO 10% dan ukuran partikel 50 μm . Ukuran partikel 50 μm mempunyai daya adsorpsi lebih baik dibandingkan dengan ukuran partikel zeolit 100 μm maupun 150 μm .

Zeolit Alam Lampung yang termodifikasi dengan TiO_2 digunakan untuk menjernihkan dan mengadsorpsi gas CO dari asap kebakaran. Hasil pengujian menunjukkan tingkat kejernihan 10% dan kapasitas adsorpsi gas CO sebesar 3,67 %

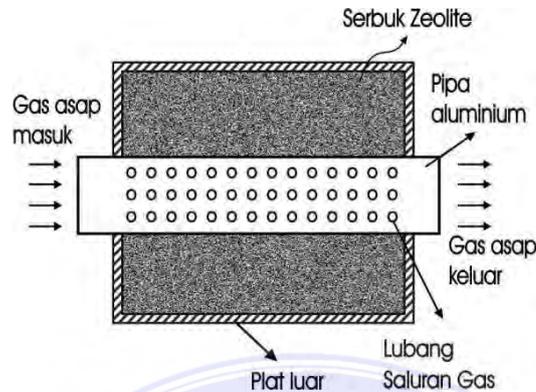
untuk ukuran partikel 400 nm (Suraputra, R., 2011). Pada penelitian lainnya Zeolit Alam yang dimodifikasi dengan proses acidifikasi dan pengkayaan ion Al^{+3} memiliki kemampuan yang baik pada proses dehidrasi bioetanol, (Khaidir, dkk., 2009).

Zeolit Alam yang telah dimodifikasi dengan TiO_2 dapat digunakan sebagai adsorben untuk mereduksi gas NO_2 dari gas buang kendaraan bermotor. Emisi gas buang kendaraan bermotor direduksi dengan cara pemasangan adsorben pada saluran gas buang kendaraan bermotor. Zeolit terlebih dahulu diaktivasi dengan HF 2%, HCl 6 M, dan NH_4Cl 0,1 M, dan dikalsinasi, dan selanjutnya dimodifikasi dengan TiO_2 . Hasil penelitian menunjukkan penggunaan Zeolit Alam yang dimodifikasi dengan 20% TiO_2 sebagai adsorben pada gas asap kendaraan bermotor mampu mengurangi emisi gas NO_2 sekitar 45 ÷ 49%, (Hasibuan, 2012).

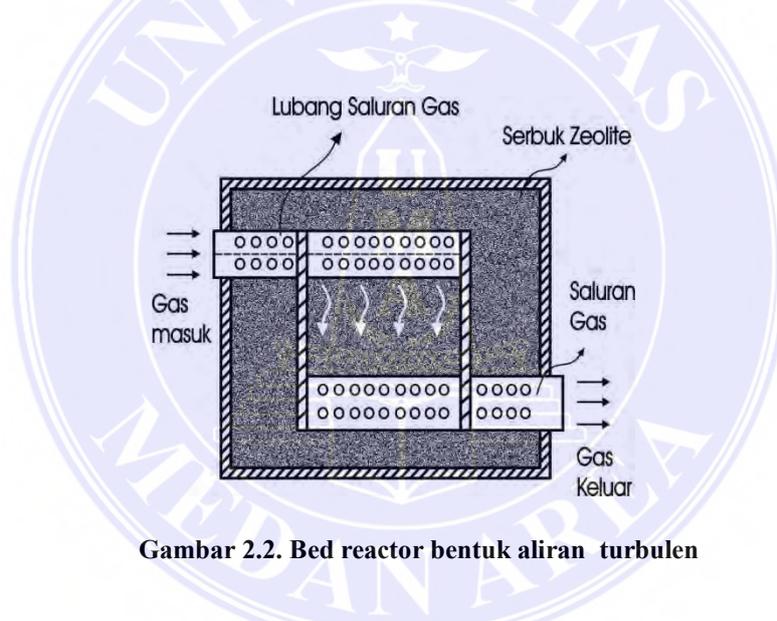
Bed reactor (BR) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. dan gambar 2.2, telah diuji daya absorpsinya terhadap gas-gas CO, CO_2 , dan HC. (Siregar, dkk., 1995). Alat BR ini dibentuk sedemikian rupa sehingga rongganya dapat diisi dengan serbuk zeolit yang telah diaktifkan. Keadaan serbuk zeolit seperti itu disebut dengan *zeolite molecular sieve*. Rongga alat BR tersebut dapat dilalui oleh gas asap kendaraan otomotif. Bentuk demikian itu dimaksudkan agar gas asap dapat mengalir diantara butiran-butiran serbuk zeolit atau melalui pori-porinya sehingga permukaan singgung antara gas asap dengan serbuk zeolit lebih luas, yang mengakibatkan terjadi penyerapan gas-gas polutan yang terdapat pada gas asap.

Kemampuan alat BR untuk menyerap gas-gas polutan yang dikandung oleh gas asap diukur dengan menggunakan *smoke test meter*. *Smoke test meter* tersebut, mampu mendeteksi gas-gas CO, CO_2 , dan HC, yang dikandung oleh gas asap. Besaran yang digunakan pada alat ini, yaitu untuk gas CO dan CO_2 adalah % volume sedangkan

untuk gas HC dalam satuan ppm.



Gambar 2.1. Bed reactor bentuk aliran laminar



Gambar 2.2. Bed reactor bentuk aliran turbulen

Rangkaian pengukuran dibuat dalam bentuk rangkaian seri atau sejajar. Pada pengukuran tanpa alat BR, *smoke test meter* dipasang diujung knalpot mesin otomotif, sehingga gas asap mesin langsung masuk ke dalam *smoke test meter* dan selanjutnya dapat dibaca besaran gas CO, CO₂, dan HC. Sedangkan pada pengukuran yang memakai alat BR, pertama-tama alat BR dipasang diujung knalpot mesin dan selanjutnya dipasang *smoke test meter* diujung BR (susunan seri).

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya penurunan kandungan gas CO yang menggunakan alat BR zeolite yaitu 8% volume pada BR jenis aliran laminar, dan

penurunan gas CO sekitar 17% volume untuk jenis aliran turbulen. Sedangkan untuk gas CO₂ dan HC menunjukkan adanya penurunan kandungan gas CO₂ dan HC yang menggunakan alat BR zeolit yaitu < 10% volume untuk BR jenis aliran laminar, dan penurunan gas CO₂ dan HC (15 ÷ 20)% volume untuk jenis aliran turbulen.

Dalam penelitian tersebut, variabel yang menjadi fokus pengujian adalah daya absorpsi dari zeolit alam yang telah diaktifkan, sedangkan alat BR-nya tersebut hanya terdiri dari dua buah saja. Oleh karena itu variasi bentuk geometris dan jumlah alat BR dalam penelitian tersebut belum memadai, sehingga masih diperlukan penelitian dengan variasi bentuk geometris dan jumlah alat BR yang lebih banyak.

2.2. Landasan Teori

Mineral zeolit merupakan sekelompok mineral yang terdiri dari beberapa species mineral. Secara umum rumus kimia mineral zeolit adalah :

$M_{x/n} (AlO_2)_x (SiO_2)_y \cdot wH_2O$ dalam hal ini :

n = valensi dari kation logam

w = bilangan molekul air per unit cell zeolit

x dan y bilangan total tetrahedral perunit cell

Berdasarkan hasil analisa kimia total kandungan mineral-mineral zeolit dinyatakan sebagai oksida rangkap, Al₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, dan Fe₂O₃. Akan tetapi di alam tergantung pada komponen bahan induk dan keadaan lingkungannya, sehingga perbandingan Si/Al dapat bervariasi. Unsur-unsur Na, Al, dan Si sebahagian dapat disubstitusi oleh unsur lain. Perbandingan Si/Al berpengaruh terhadap ketahanan zeolit terhadap pemanasan dan asam. (Cotton et.al, 1980).

Bentuk kristal zeolit dapat berbentuk kubus, fibrous dan lamela, susunannya persis serta mempunyai banyak rongga dan saluran yang teratur dalam ukuran

yang tertentu yang berkesinambungan. Rongga dan saluran ini berisi ion-ion logam dan molekul air yang dapat bergerak bebas (dikeluarkan), sehingga dapat dipakai sebagai penukar ion dan dapat bertungsi sebagai penyerap. Bila kristal tersebut dipanaskan sampai pada temperatur $(280 \div 300)^{\circ}\text{C}$ selama beberapa jam, maka molekul-molekul air pada rongga-rongga tersebut akan keluar, sehingga zeolit yang bersangkutan dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan.

Pengaktifan zeolit dimaksudkan sebagai suatu usaha untuk memodifikasi keadaan pada struktur kerangka atau struktur non kerangka zeolit sehingga diperoleh sifat-sifat fisika dan kimia zeolit yang diinginkan. Pada zeolit alam pengaktifan memberikan efek pencucian atau penghilangan komponen pengotor. Pemanasan bertujuan untuk mengeluarkan air atau garam pengotor dari rongga kristal zeolit. (Suyartono, 1992).

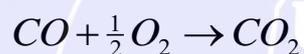
2.2.1. Proses Aktivasi

Proses pengaktifan zeolit alam secara umum dapat dilakukan dalam dua tahapan yaitu proses Dealuminasi dan Kalsinasi. Dealuminasi adalah teknik yang digunakan untuk mengurangi kandungan aluminium zeolit. Proses ini menyebabkan pergeseran tetrahedral aluminium dari posisi rangka ke posisi non rangka tetapi tidak menghilangkan aluminium dari zeolit. Pada proses ini dilakukan pencucian zeolit dengan asam kuat. Larutan asam yang digunakan adalah asam florida dan klorida. Florida maupun klorida adalah zat yang sangat sensitif terhadap zeolit, dimana hal tersebut tergantung pada kondisi perlakuannya seperti konsentrasi, lamanya pencucian, kadar air, dan temperatur pencucian. Alumina dan silika dapat bereaksi dengan florida dan klorida pada kondisi yang tidak terlalu pekat dan lingkungan biasa. Kalsinasi adalah perlakuan panas terhadap zeolit pada temperatur yang relatif tinggi dalam

furnace yang bertujuan menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit, selain itu juga untuk menghilangkan zat organik yang dikandung zeolit, (Yuliusman, dkk., 2010).

2.2.2. Pembakaran Hidrokarbon

Baik motor otto maupun motor diesel menggunakan bahan bakar hidrokarbon berupa bensin dan solar. Senyawa hidrokarbon ini jika dibakar sempurna akan menghasilkan CO₂ dan H₂O akan tetapi jika tidak sempurna maka sebagian terbentuk CO. Zeolit dapat berfungsi sebagai adsorben maupun katalis (Towsend, 1979). Zeolit dengan adanya sedikit logam mulia akan mengoksidasi CO menjadi CO₂.



Aktifitas katalis ini bertamabar besar pada temperatur (200 ÷ 300)⁰C dan dengan penambahan karbon untuk menambah luar permukaan. Selain oksidasi dapat juga terjadi disosiasi oleh katalis dari CO sebagai berikut :



Kadar CO, CO₂, dan HCl yang dikandung gas asap mesin otomotif diukur dengan menggunakan *portabel smoke tester meter*. Kadar CO, CO₂, dan HCl yang diukur dengan menggunakan *portabel smoke tester meteryaitu* gas asap yang keluar dari knalpot mesin otomotif tanpa menggunakan alat BR, dan gas asap yang keluar dengan menggunakan alat BR. Sehingga pengukuran dari kedua gas ini dapat dibandingkan.

2.3. Teori Motor Bakar

Motor bakar merupakan salah satu mesin yang digunakan sebagai penggerak mula-mula alat transportasi maupun sebagai alat penggerak. Motor bakar merupakan suatu mesin konversi energi yang merubah energi kalor menjadi energi mekanik. Dengan adanya energi kalor sebagai suatu penghasil tenaga maka sudah semestinya mesin tersebut memerlukan bahan bakar dan sistem pembakaran yang digunakan sebagai sumber kalor. Motor bakar/mesin yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik, yaitu dengan cara merubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas, dan menggunakan energi tersebut untuk melakukan kerja mekanik. Energi termal diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada mesin itu sendiri. Jika ditinjau dari cara memperoleh energi termal ini (proses pembakaran bahan bakar), maka motor bakar dapat dibagi menjadi 2 golongan yaitu: motor pembakaran dalam dan motor pembakaran luar.

2.3.1. Motor Pembakaran Dalam

Pada motor pembakaran dalam, proses pembakaran bahan bakar terjadi didalam mesin itu sendiri, sehingga panas dari hasil pembakaran langsung bisa diubah menjadi tenaga mekanik. Keuntungan motor pembakaran dalam adalah konstruksi sederhana, tidak memerlukan fluida yang banyak dan efisiensi totalnya lebih tinggi dibanding motor pembakaran luar. Misalnya : pada turbin gas, motor bakar torak dan mesin propulsi pancar gas

2.3.2. Motor Pembakaran Luar

Pada motor pembakaran luar ini, proses pembakaran bahan bakar terjadi diluar mesin itu, sehingga untuk melaksanakan pembakaran digunakan mesin tersendiri. Panas dari hasil pembakaran bahan bakar tidak langsung diubah menjadi tenaga gerak, tetapi terlebih dulu melalui media penghantar, baru kemudian diubah menjadi tenaga mekanik. Keuntungan dari motor pembakaran luar adalah untuk bahan bakar dapat menggunakan bahan bakar yang lebih beragam dan daya keluaran lebih besar dibanding motor pembakaran dalam. Misalnya pada ketel uap dan turbin uap.

2.4. Motor Bakar Bensin

Motor bensin merupakan motor yang menggunakan bahan bakar bensin untuk memperoleh tenaga panas (heat energy), dimana campuran gas bahan bakar dan udara yang diisap ke dalam silinder dimampatkan dengan torak, kemudian dipercikkan bunga api melalui elektroda busi maka terjadilah pembakaran. Dengan terbakarnya campuran gas bahan bakar dan udara yang ada di dalam silinder, suhu dan tekanan di dalam silinder akan naik sehingga akan diperoleh tenaga yang akan menggerakkan torak. Karena proses pembakaran bahan bakar terjadi di dalam ruang bakar, maka motor bensin ini tergolong ke dalam jenis motor pembakaran dalam Internal Combustion Engine (ICE). Motor bensin mengubah energi termal bahan bakar menjadi energi mekanik berupa daya poros pada putaran poros engkol. Motor bensin ini dilengkapi dengan busi dan karburator yang memiliki peran penting dalam proses pembakaran. Karburator dalam motor bensin digunakan sebagai tempat pencampuran bahan bakar dan udara sampai di dapatkan campuran bahan bakar dengan udara dalam bentuk kabut/gas, agar selanjutnya campuran bahan bakar tersebut dapat terbakar oleh percikan

bunga api listrik dari busi didalam ruang bakar. Setelah campuran bahan bakar udara keluar dari karburator berbentuk gas, maka campuran bahan bakar tersebut diisap kedalam ruang bakarmelalui katup masuk. kemudian di dalam ruang bakar menjelang akhir langkahkompresi, loncatan bunga api listrik dari busi membakar campuran bahan bakarini sehingga terjadilah proses pembakaran yang kemudian dapat menghasilkandaya motor.Motor bensin Spark Ignition Engine (SIE) menurut prinsip kerjanya, dapat

dibedakan menjadi dua jenis, yaitu motor bensin dua langkah (two stroke) danmotor bensin empat langkah (four stroke).

2.4.1. Motor Bensin 2 Langkah

Motor bensin 2 langkah memerlukan 2 kali langkah torak untuk 1 kalipembakaran dan 1 kali langkah kerja dalam 1 kali putaran poros engkol. MotorBakar dua langkah (two stroke) menyelesaikan satu siklus dalam dua langkahtorak, atau satu putaran poros engkol.gerakan torak ke TMA adalah untukmengadakan proses ekspansi. Pengisian muatan segar ke dalam silinderdilaksanakan ketika tekanan muatan itu melebihi tekanan gas di dalam silinder.Pada keadaan tersebut, saluran pengisi ada dalam keadaan terbuka. Untuk itu,muatan segar harus memiliki tekanan yang lebih tinggi dari tekanan atmosfer.

- 1) Langkah kompresi dan langkah hisap. Langkah kompresi dan langkah hisap, pada langkah ini dalam motor 2langkah terjadi 2 aksi berbeda yang terjadi secara bersamaan yaitu aksi kompresiyang terjadi pada ruang silinder atau pada bagian atas dari piston dan aksi hisapyang terjadi pada ruang engkol atau pada bagian bawah piston. sedangkan yangterjadi dalam langkah ini adalah

torak bergerak dari TMB (titik mati bawah) keTMA (titik mati atas). pada saat saluran pembiasan tertutup mulai dilakukanlangkah kompresi pada ruang silinder. dan pada saat saluran hisap membuka maka campuran udara dan bensin akan masuk ke dalam ruang engkol.

- 2) Langkah usaha dan langkah buangLangkah usaha dan langkah buang, pada langkah ini terjadi langkah usahadan buang yang terjadi pada saat yang tidak bersamaan, jadi langkah usaha dahulubarulah setelah saluran pembiasan dan saluran buang terbuka terjadi langkahbuang.yang terjadi dalam langkah ini adalah sebelum piston mencapai TMA (titikmati atas), busi akan memercikan bunga api listrik sehingga campuran udara danbahan bakar akan terbakar dan menyebabkan timbulnya daya dorong terhadappiston, sehingga piston akan bergerak dari TMA (titik mati atas) ke TMB (titikmati bawah). sesaat setelah saluran hisap tertutup dan saluran bias serta salurambuang membuka maka campuran udara dan bahan bakar yang berada diruangengkol akan mendorong gas sisa hasil pembakaran melalui saluran bias kesaluran.

2.4.2. Motor Bensin 4 Langkah

Motor bensin 4 langkah memerlukan 4 langkah torak untuk 1 kalipembakaran dan 1 kali langkah kerja dalam 2 kali putaran poros engkol. Pada motor bensin, bensin dibakar untuk memperoleh tenaga panas. selanjutnya tenaga inilah yang digunakan untuk menggerakkan torak. daya dari torak diteruskan olehconnecting rod (batang torak) ke poros engkol, dan oleh poros engkol diubahmenjadi gerak rotasi. Gerak rotasi poros engkol akan mengatur gerakan torakuntuk melakukan kerja selanjutnya. kerja periodik di dalam silinder di mulai dari pemasukan campuran udara dan bensin ke

dalam silinder, sampai pada kompresi, pembakaran dan pengeluaran gas sisa pembakaran di dalam silinder disebut Engine Cycle (siklus mesin). Agar lebih jelas akan diterangkan prinsip kerja dari motor bensin empat langkah seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa motor bensin 4 langkah (four stroke) memerlukan 4 langkah torak untuk 1 kali pembakaran dan 1 kali langkah kerja dalam 2 kali putaran poros engkol dalam cara kerjanya. Secara spesifik, prinsip kerja motor bensin 4 langkah dapat dijelaskan sebagai berikut :

- 1) Langkah Hisap. Pada langkah ini dimulai dengan bergeraknya piston kebawah dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sambil menghisap campuran bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder. Saat langkah ini, katup isap akan membuka dan kembali menutup setelah piston beberapa saat meninggalkan TMB, sedangkan katup buang selama langkah ini dalam keadaan tertutup. Poros engkol akhirnya membuat setengah putaran pertamanya seperti pada gambar 2.4.
- 2) Langkah kompresi. Pada langkah ini posisi katup masuk dan katup buang tertutup. Torak bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), yang menyebabkan campuran bahan bakar udara yang terisap kini terkurung dan dimampatkan oleh piston yang bergerak ke TMA. Dengan demikian volume ruang silinder di atas torak mengecil, karena itu tekanan dan suhunya akan naik hingga campuran itu mudah sekali terbakar, tekanan ini disebut tekanan kompresi. Proses pemampatan ini disebut langkah kompresi atau langkah tekan. Pada akhir langkah kompresi dalam silinder, campuran bahan bakar dan udara akan dipercikkan bunga api dari busi.
- 3) Langkah kerja. Pada langkah ini proses pembakaran menyebabkan campuran

bahan bakar udara akan mengembang dan memuai, sehingga energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran dalam ruang bakar menimbulkan tekanan ke segala arah dan mendesak piston ke TMB. Langkah usaha inilah yang diharapkan pada mesin untuk dapat menjaga kelangsungan kerja dan peroleh tenaga mesin. Dari langkah kerja ini terlihat bahwa terjadi proses perubahan energi panas menjadi energi mekanis berupa gerak bolak-balik pada piston kemudian diubah lagi menjadi gerak putar pada poros engkol untuk untuk selanjutnya diteruskan ke roda.

- 4) Langkah buang. Pada langkah buang ini posisi katup masuk tertutup dan katub buang terbuka, torak bergerak dari TMB ke TMA untuk mendorong keluar gas-gas yang telah terbakar dari dalam silinder menuju saluran gas buang. Bila torak telah mencapai TMA, yaitu sesudah melakukan langkah buang, torak akan kembali pada keadaan untuk mulai langkah isap. Sekarang motor telah melakukan empat gerakan penuh. Poros engkol berputar dua putaran penuh, dan telah menghasilkan satu tenaga. Di dalam mesin sebenarnya membuka dan menutupnya katup tidak terjadi tepat pada saat torak mencapai TMA atau TMB, tetapi akan berlaku lebih cepat atau lebih lambat.

2.5. Bahan Bakar dan Pembakaran

Bahan bakar (fuel) adalah segala bahan yang dapat dibakar untuk menimbulkan tenaga atau panas. Pada bahan konvensional, konversinya melalui proses pembakaran (oksidasi), misalnya LPG, bensin, solar, minyak tanah, kayu, batubara dan sebagainya. Bahan bakar yang digunakan dalam mesin pembakaran dalam digolongkan tiga kelompok, yaitu :

1. Bahan bakar gas
2. Bahan bakar cair
3. Bahan bakar padat

Kriteria utama yang harus dipenuhi bahan bakar yang akan digunakan dalam motor bakar adalah sebagai berikut:

- 1) Proses pembakaran bahan bakar dalam silinder harus secepat mungkin dan panas yang dihasilkan harus tinggi.
- 2) Bahan bakar yang digunakan harus tidak meninggalkan endapan atau deposit setelah pembakaran karena akan menyebabkan kerusakan pada dinding silinder.
- 3) Gas sisa pembakaran harus tidak berbahaya pada saat dilepas ke atmosfer.

Untuk melakukan pembakaran diperlukan 3 unsur, yakni :

1. Bahan Bakar
2. Udara
3. Suhu untuk memulai pembakaran.

2.5.1. Syarat-Syarat Bahan Bakar Untuk Motor Bakar Bensin

- 1) Volatilitas Bahan Bakar. Volatilitas bahan bakar di definisikan sebagai kecenderungan cairan bahan bakar untuk menguap. Pada motor bensin, campuran bahan bakar dan udara yang masuk dalam silinder sebelum dan sesudah selama proses pembakaran diusahakan sudah dalam keadaan campuran uap bahan bakar dan udara, sehingga memudahkan proses pembakaran. Oleh karena itu kemampuan menguapkan bahan bakar untuk motor bensin sangat penting.
- 2) Angka Oktan. Angka Oktan adalah suatu bilangan yang menunjukkan sifat anti

ketukan(denotasi). Dengan kata lain, makin tinggi angka oktan maka semakin berkurang kemungkinan untuk terjadinya denotasi (knocking). Dengan berkurangnya intensitas untuk berdenotasi, maka campuran bahan bakar dan udara yang dikompresikan oleh torak menjadi lebih baik sehingga tenaga motor akan lebih besar dan pemakaian bahan bakar menjadi lebih hemat. Cara menentukan angka oktan bahan bakar ialah dengan mengadakan suatu perbandingan bahan bakar tertentu dengan bahan bakar standar. Yaitu dengan menggunakan mesin CFR (Coordination Fuel Research). Mesin CFR merupakan sebuah mesin silinder tunggal dengan perbandingan kompresi yang dapat diukur dari sekitar 4:1 sampai dengan 14:1. Terdapat dua metode dasar yang umum digunakan yaitu research method menggunakan mesin motor CFR F-1, yang hasilnya disebut dengan Research Octane Number (RON) dan motor method yang menggunakan mesin motor CFR F-2 dimana hasilnya disebut dengan Motor Octane Number (MON). Research method menghasilkan gejala ketukan lebih rendah dibandingkan motor research. Besar angka oktan bahan bakar tergantung pada presentase iso oktana (C_7H_{18}) dan normal heptana (C_7H_{16}) yang terkandung di dalamnya. Sebagai pembanding, bahan bakar yang sangat mudah berdenotasi adalah normal heptana (C_7H_{16}) sedang yang sukar berdenotasi adalah iso-oktana (C_7H_{18}). Bensin yang cenderung ke arah sifat normal heptana disebut bensin dengan nilai oktan rendah (angka oktan rendah) karena mudah berdenotasi, sebaliknya bahan bakar yang lebih cenderung ke arah sifat iso-oktana dikatakan bensin dengan nilai oktan tinggi atau lebih sukar berdenotasi. Misalnya suatu bensin mempunyai angka oktan 90 akan lebih sukar berdenotasi daripada bensin beroktan 70. Jadi kecenderungan bensin untuk

berdenotasi dinilai dari angka oktannya. Isooktana murni diberi indeks 100, sedangkan normal heptana murni diberi indeks 0. Dengan demikian jika suatu bensin memiliki angka oktan 90 berarti bensin tersebut cenderung berdenotasi sama dengan campuran yang terdiri atas 90% volume iso-oktana dan 10% volume normal heptana.

- 3) Kestabilan Kimia dan Kebersihan Bahan Bakar. Kestabilan kimia bahan bakar sangat penting, karena berkaitan dengan kebersihan bahan bakar yang selanjutnya berpengaruh terhadap sistem pembakaran dan sistem saluran. Pada temperatur tinggi, bahan bakar sering terjadi polimer yang berupa endapan-endapan gum (getah) ini berpengaruh kurang baik terhadap sistem saluran misalnya pada katup-katup dan saluran bahan bakar. Bahan bakar yang mengalami perubahan kimia, menyebabkan gangguan pada proses pembakaran. Pada bahan bakar juga sering terdapat saluran/senyawa yang menyebabkan korosi, senyawa ini antara lain : senyawa belerang, nitrogen, oksigen, dan lain-lain, kandungan tersebut pada gas solin harus diperkecil untuk mengurangi korosi, korosi dari senyawa tersebut dapat terjadi pada dinding silinder, katup, busi, dan lainnya, hal inilah yang menyebabkan awal kerusakan pada mesin. Berikut ini beberapa sifat dan karakteristik bahan bakar.
- 2.9.2. Bahan Bakar Bensin (Premium) Premium berasal dari bensin yang merupakan salah satu fraksi dari penyulingan minyak bumi yang diberi zat tambahan atau aditif, yaitu Tetra Ethyl Lead (TEL). Premium mempunyai rumus empiris Ethyl Benzene (C_8H_{18}). Premium adalah bahan bakar cair yang berasal dari minyak bumi (crude oil), minyak bumi didapat dari dalam tanah dengan jalan pengeboran ladang-ladang minyak, dan memompanya sampai ke atas

permukaan bumi, untuk selanjutnyadiolah melalui proses penyulingan dan destilasi sehingga komposisinya bisadipergunakan sebagai bahan bakar motor pembakaran dalam (internal combustionengine). Bahan bakar ini juga sering disebut motor gasoline atau petrol denganangka oktan adalah 88, dan mempunyai titik didih 300C-2000C.



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1. Peralatan penelitian.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

(1) **Smoke tester.** Jenis smoke tester yang digunakan adalah SPTC anycar auto chek gas & smoke versi 1.5.1.E-1. Alat ini berfungsi untuk mengukur komposisi gas asap yang keluar dari knalpot (muffler) mesin otomotif. Alat ini berfungsi untuk mendeteksi polutan gas asap, terutama kandungan gas CO, CO, dan gas HC. Alat ini dipasangkan pada ujung knalpot mesin otomotif, sehingga kandungan polutan gas asap langsung dapat dibaca.



(a)

(b)

Gambar 3.1. SPTC anycar auto chek Gas & Smoke

(2) **Peralatan Laboratorium.** Peralatan-peralatan lainnya yang diperlukan adalah peralatan pada (1) laboratorium proses produksi, (2) Laboratorium kimia, dan (3) laboratorium beton. Pada laboratorium proses produksi diperlukan peralatan mesin bubut, mesin gerinda, mesin las dan perlengkapan pendukung lainnya. Pada laboratorium kimia diperlukan bahan-bahan kimia dan peralatan lainnya dalam rangka proses pengaktifan zeolit yaitu proses kimia dan proses fisika. Pada laboratorium beton diperlukan peralatan untuk mengolah butiran zeolit alam menjadi butiran-butiran zeolit berukuran 10 mesh, 20 mesh, dan 40 mesh.

Peralatan yang diperlukan adalah alat pemecah butiran zeolit dan ayakan sebagai penyaring butiran zeolit.

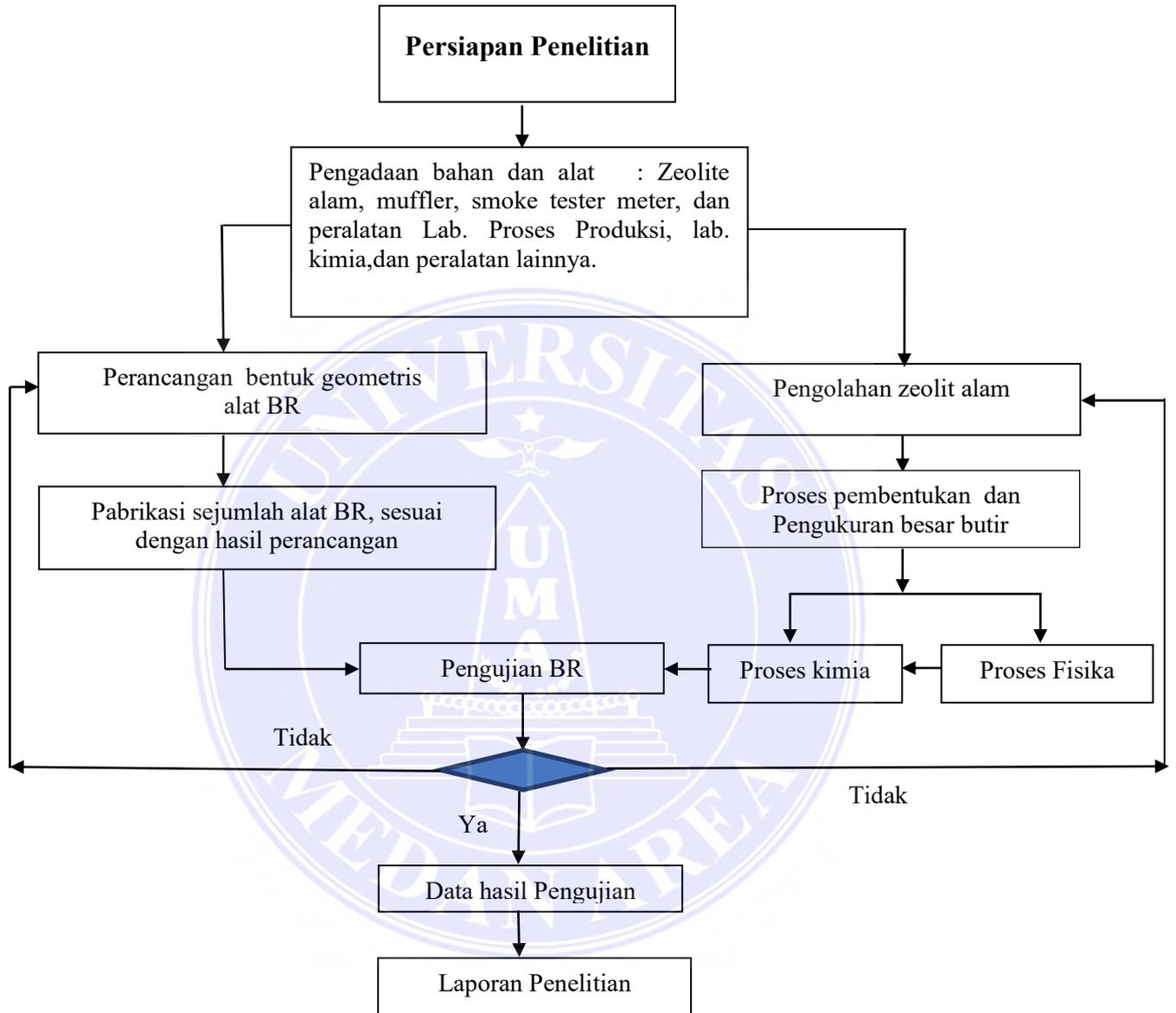
3.1.2. Bahan penelitian.

Bahan penelitian yang digunakan adalah zeolit alam sebagai bahan adsorbent. Zeolit alam sudah banyak diperjual belikan di kota-kota besar. Bahan zeolit alam untuk penelitian ini dalam bentuk butiran-butiran (granular) diperoleh di toko-toko penjualan zeolit. Selanjutnya zeolit ini diolah dan diproses baik secara fisika maupun secara kimia.



3.2. Prosedur Penelitian

3.2.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

3.2.2. Penyediaan dan Pengolahan Zeolit Alam Penelitian

1. **Penyediaan Zeolit.** Bahan penelitian adalah zeolit alam. Zeolit alam tersedia di alam pengunungan bumi Indonesia, seperti di Desa Sarulla, Kabupaten Tapanuli Utara, Propinsi Sumatera Utara. Namun belakangan ini sudah banyak diperjual

belikan di kota-kota besar, seperti di Medan, Jakarta, Bandung dan sebagainya, sehingga lebih mudah untuk mendapatkannya. Pada penelitian ini zeolit alam diperoleh di Kota Medan.

2. **Pengolahan zeolit alam.** Pengolahan zeolit terdiri dari proses pengolahan secara mekanis, proses aktivasi dan proses modifikasi Zeolit Alam. Proses pengolahan zeolit alam secara mekanis yaitu pemecahan batu-batu zeolit dengan menggunakan alat pemecah batu atau dapat juga dilakukan secara manual. Batu-batu zeolit dipecah menjadi butiran-butiran halus, selanjutnyabutran-butiran ini disaring atau diayak dengan menggunakan mesin pengayak untuk memperoleh ukuran butiran-butiran zeolit yang diinginkan. Dalam hal penelitian ini ukuran butiran-butiran zeolit yang diinginkan adalah 10 mesh, 20 mesh, dan 40 mesh. Sedangkan proses aktivasi zeolit pada awalnya dilakukan pemanasan butiran-butiran zeolit alam pada alat pemanas, dipanaskan hingga temperatur 300°C dan ditahan temperatur tersebut selama ± 3 jam. Tujuan pemanasan adalah untuk menghilangkan kandungan air pada butiran zeolit. Aktivasi selanjutnya yaitu pencucian butiran-butiran zeolit dengan larutan asam chlorida (HCl) dengan konsentrasi 1 N. Zeolit hasil pencucian ini merupakan zeolit yang telah aktif, dan siap digunakan sebagai bahan pengadsorpsi polutan gas asap kendaraan bermotor.



(a)



(b)

Gambar 3.3. (a) zeolit alam dalam kemasan dan (b) butiran – butiran zeolit yang diperoleh di pasaran



(a)



(b)

Gambar 3.4. (a) Mesin pemecah batu, (b) alat pemecah zeolit secara manual



(a)

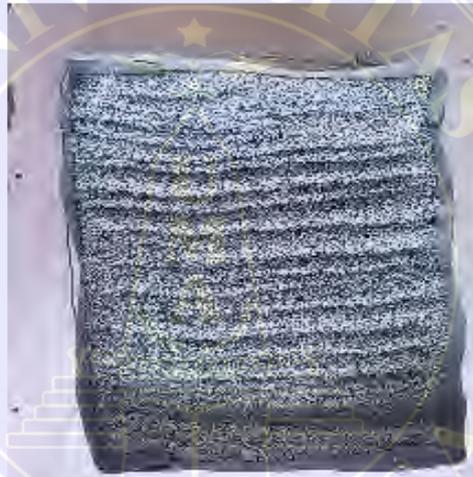


(b)

Gambar 3.5. (a) Mesin pengayak otomatis, (b) Macam-macam ayakan berdasarkan ukuran mesh



Gambar 3.6. butiran- butiran zeolit dipisah berdasarkan ukuran mesh



Gambar 3.7. Proses pengaktifan butiran-butiran zeolit

3.2.3. Perancangan dan Pembuatan Bed Reactor

1) Rancangan.

Pada tahap awal adalah perancangan bentuk geometris dari *bed reactor* zeolit. Bentuk dan dimensi dari bodi bed reactor merujuk pada knalpot kendaraan roda empat yang banyak digunakan. Bentuk dan dimensi bodi knalpot kendaraan empat roda bervariasi, sehingga dalam hal ini bentuk dan dimensi bed reactor diambil dimensi knalpot rata-rata yang banyak digunakan. Pada perancangan ini

akan dihasilkan bed reactor jenis aliran turbulen. Hasil rancangan bed reactor dapat dilihat pada bab IV.

2) Pembuatan bed reactor.

Pada awalnya disediakan komponen-komponen dari bed reactor yang dirancang. Komponen bed reactor terdiri dari ; (1) body bed reactor yang merupakan bagian dari bodi untuk pembuatan knalpot (muffler) kendaraan roda empat seperti diperlihatkan pada gambar 3.8.a. (2) bola-bola dari bahan stainless steel diameter luar dua setengah inchi, seperti diperlihatkan pada gambar 3.8.b, dan (3) pipa diameter 3 inchi dari bahan stainless, gambar 3.9.



Gambar 3.8. (a) body bed reactor, dan (b) bola-bola dari bahan stainless steel

(1) Pembentukan body bed reactor.

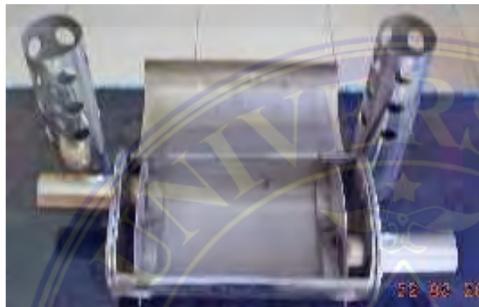
Langkah berikutnya adalah pembentukan body bed reactor. Body bed reactor dibentuk dari keadaan gambar 3.8.a, menjadi gambar 3.9.b, yaitu dengan cara memotong dan membuat tutup yang dapat dibuat dan ditutup kembli (gambar 3.9.c).



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.9. (a) proses pembentukan body bed reactor, (b) bentuk rongga dalam body bed reactor, (c) bentuk akhir rongga dalam dari bed reactor aliran turbulen

cara membuat bola-bola stainless steel. Bola-bola yang berlubang-lubang ini dibelah menjadi dua bagian setengah bola dan dibuat menjadi jaring-jaring setengah bola. Jaring-jaring setengah bola ini disatukan kembali menjadi sebuah jaring-jaring bola. Jaring-jaring bola ini diisi dengan butiran-butiran zeolit alam yang telah diaktifkan dan diletakkan di dalam pipa luan gas asap mesin otomotif. Pada keadaan seperti ini akan terjadi penyerapan polutan gas asap mesin otomotif. Urutan proses pembuatan jaring-jarin bola ini dapat dilihat seperti gambar berikut.



(a)



(b)



(c)



(d)

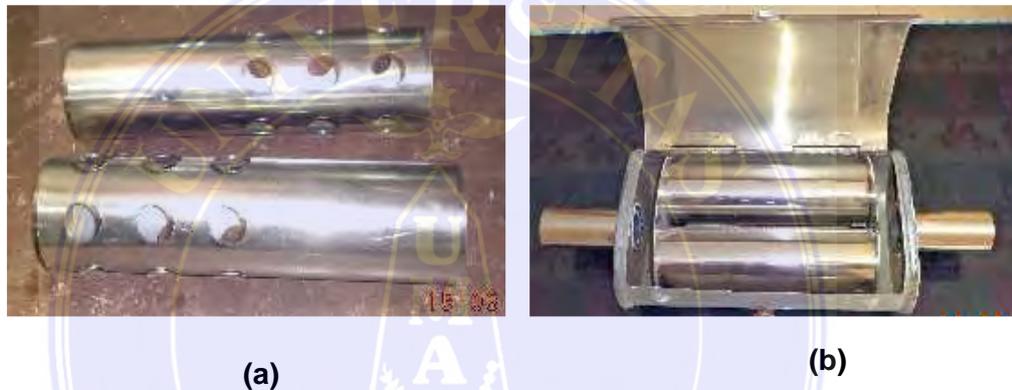
Gambar 3.10. (a) Proses pembuatan lubang-lubang pada bola, (b) bola-bola yang dilubangi, (c) setengah bola yang berongga, dan (d) Jaring-jaring setengah bola



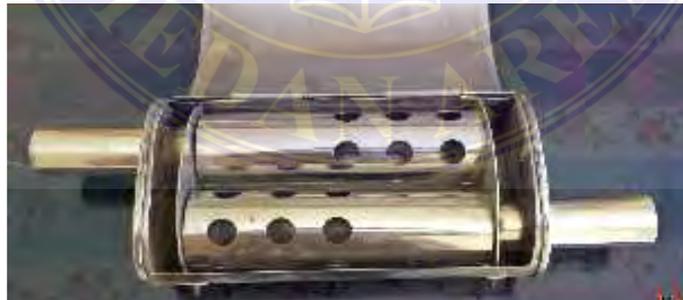
Gambar 3.11. Jaring-jaring bola yang telah terbentuk

(3). Pembentukan pipa saluran gas asap.

Pipa saluran gas asap terbuat bahan stainless steel. Pipa saluran gas asap ini dibedakan menjadi dua jenis bentuknya. Pipa saluran gas asap jenis pertama yang digunakan untuk bed reactor aliran laminar bentuk lurus polos tidak berongga, sedang pipa saluran gas asap jenis kedua yang digunakan untuk bed reactor aliran turbulen bentuknya berlubang dari arah radial. Lubang-lubang radial ini berfungsi untuk laluan gas asap ke pipa saluran disebelahnya. Pembentukan lubang ini dibuat dengan mesin bubut. Perbandingan pipa saluran gas asap yang berlubang dengan yang tidak berlubang dapat dilihat pada gambar 3.12.a dan gambar 3.12.b.



Gambar 3.12. (a) pipa saluran gas asap yang berlubang dari arah radial, (b) pipa saluran gas asap tidak berlubang dari arah radial



Gambar 3.13. Pipa saluran gas asap jenis berlubang telah terpasang pada body bed reactor zeolit alam

3.3. Pengujian daya adsorpsi Bed Reactor.

Masing-masing bentuk geometris ini akan diuji daya adsorpsinya terhadap gas-gas CO, CO₂, dan HC.



Gambar 3.14. (a) dan (b) Proses pengujian gas asap pada mesin otomotif jenis mobil minibus



Gambar 3.15. Proses penggantian kawat pada bola-bola baja

3.4. Variabel pengujian.

Sebagai variabel pada pengujian pada tahun I adalah besar butir zeolit dan jumlah (massa) zeolit alam yang dimasukkan ke dalam BR sehingga diperoleh daya serap BR maksimum. Pengujian daya serap *bed reactor* dilakukan terhadap dua jenis bentuk geometris *bed reactor*, yaitu *bed reactor* aliran laminar dan *bed reactor* jenis aliran turbulen.