



**SKRIPSI – TK141581**

**PROSES PIROLISIS KATALITIK UNTUK *CRACKING*  
BITUMEN DARI ASBUTON MENJADI BAHAN BAKAR  
CAIR DENGAN KATALIS ZEOLIT ZSM-5**

**Oleh :**

**Aldy Hanif Wibisono  
NRP. 0221144000064**

**Redina Ayu Nur Qarnaini Putri  
NRP. 0221144000098**

**Dosen Pembimbing 1:  
Dr. Ir. Susianto, DEA  
NIP. 1962 08 20 1989 03 1004**

**Dosen Pembimbing 2:  
Fadlilatul Taufany, S.T. Ph.D  
NIP. 1981 07 13 2005 01 1001**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**





**FINAL PROJECT – TK141581**

**CATALYTIC PYROLYSIS PROCESS FOR BITUMEN  
CRACKING FROM ASBUTON BECOME LIQUID FUEL  
WITH ZSM-5 ZEOLITE AS CATALYST**

**Proposed by :**

**Aldy Hanif Wibisono  
NRP. 0221144000064**

**Redina Ayu Nur Qarnaini Putri  
NRP. 0221144000098**

**Advisor 1:**

**Dr. Ir. Susianto, DEA  
NIP. 1962 08 20 1989 03 1004**

**Advisor 2:**

**Fadlilatul Taufany, S.T. Ph.D  
NIP. 1981 07 13 2005 01 1001**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**



# LEMBAR PENGESAHAN

## PROSES PIROLISIS KATALITIK UNTUK *CRACKING* BITUMEN DARI ASBUTON MENJADI BAHAN BAKAR CAIR DENGAN KATALIS ZEOLIT ZSM-5

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik  
Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**Aldy Hanif Wibisono**  
**Redina Ayu Nur Qarnaini Putri**

**NRP. 0221144000064**  
**NRP. 0221144000098**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Susianto, DEA  
(Pembimbing 1)
2. Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D  
(Pembimbing 2)
3. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc  
(Penguji I)
4. Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D  
(Penguji II)
5. Prof. Ir. Renanto, M.Sc., Ph.D  
(Penguji III)



Surabaya, 24 Juli 2018



# PROSES PIROLISIS KATALITIK UNTUK *CRACKING* BITUMEN DARI ASBUTON MENJADI BAHAN BAKAR CAIR DENGAN KATALIS ZEOLIT ZSM-5

Dosen Pembimbing : **Dr. Ir. Susianto, DEA.**  
**Fadlilatul Taufany, S.T. Ph.D**

Disusun oleh : **Aldy Hanif Wibisono**  
NRP : 02211440000064  
**Redina Ayu Nur Qarnaini Putri**  
NRP : 02211440000098

## ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari efektivitas katalis zeolit ZSM-5 untuk *cracking* bitumen dari asbuton, mempelajari pengaruh kondisi operasi pirolisa terhadap *yield* masing-masing produk cair, gas, dan sisa padatan asbuton. Proses pirolisis katalitik dilakukan secara *semi-continue* dalam reaktor pirolisis pada kondisi vakum dengan variabel suhu operasi 350°C, 400°C, 450°C, dan 500°C serta zeolit ZSM-5 sebagai katalis divariasi dengan rasio 5%, 7%, dan 9% dari berat *feed* asbuton. Asbuton sebanyak 228 gram dicampurkan dengan ZSM-5 sesuai variabel rasio katalis kemudian diaduk hingga merata lalu dimasukkan ke reaktor pirolisis saat suhu dalam reaktor menunjukkan variabel suhu operasi yang diinginkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis zeolit ZSM-5 efektif untuk *cracking* bitumen dalam asbuton dengan menghasilkan *yield* produk cair tertinggi sebesar 70.07% pada suhu operasi 350°C dengan rasio 9% katalis. Kenaikan rasio katalis dan peningkatan suhu operasi akan meningkatkan *yield* produk gas hingga dengan rasio 9% katalis dan suhu 500°C namun memberikan *yield* produk cair yang tidak konsisten.

**Kata Kunci** : Katalis ZSM-5, Bahan Bakar Alternatif, Asbuton, *Cracking*, Vakum Pirolisis Katalitik.

# **CATALYTIC PYROLYSIS PROCESS FOR BITUMEN CRACKING FROM ASBUTON BECOME LIQUID FUEL WITH ZSM-5 ZEOLITE AS CATALYST**

Advisor : **Dr. Ir. Susianto, DEA.**  
**Fadlilatul Taufany, S.T. Ph.D**

Proposed By : **Aldy Hanif Wibisono**  
NRP : 02211440000064  
**Redina Ayu Nur Qarnaini Putri**  
NRP : 02211440000098

## **ABSTRACT**

The purpose of this research was to study the effectiveness of ZSM-5 zeolite catalysts for bitumen cracking of asbutons, the effect of pyrolysis operation conditions to each yields of liquid product, gas, and residual asbuton solids. The catalytic pyrolysis process is carried out semi-continuously in the pyrolysis reactor under vacuum with operating temperature variables of 350<sup>o</sup>C, 400<sup>o</sup>C, 450<sup>o</sup>C, and 500<sup>o</sup>C also ZSM-5 zeolite as the catalyst that varied with ratio of 5%, 7%, and 9% of the weight of asbuton feed. Asbuton of 228 grams is mixed with ZSM-5 according to catalyst ratio variable then stirred until homogen and then put into pyrolysis reactor based on its operating temperature variables. The results showed that ZSM-5 zeolite catalyst was effective for bitumen cracking in asbuton that produced highest yield of liquid product up to 70.07% at operating temperature 350<sup>o</sup>C with ratio of 9% catalyst. The increase of catalyst ratio and operating temperature will increase the yield of the gas product up to 9% catalyst and at 500<sup>o</sup>C but produced inconsistent yield of liquid product.

**Key Words** : ZSM-5 Catalyst, Alternative Fuels, Asbuton, Cracking, Vacuum Catalytic Pyrolysis.

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami sampaikan ke hadirat Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan berkah-Nya kami dapat menyelesaikan tugas Skripsi dengan judul:

### **PROSES PIROLISIS KATALITIK UNTUK *CRACKING* BITUMEN DARI ASBUTON MENJADI BAHAN BAKAR CAIR DENGAN KATALIS ZEOLIT ZSM-5**

Tugas Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Pada kesempatan kali ini, kami menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Juwari, S.T.,M.Eng.,Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MSc selaku Kepala Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa yang telah banyak memberikan masukan bagi kami
3. Bapak Dr. Ir. Susianto, DEA dan Bapak Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan bagi kami.
4. Ibu Siti Nurkhamidah, S.T.,MS.,Ph.D. dan Ibu Dr. Yeni Rahmawati,S.T.,M.T. selaku dosen Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa
5. Bapak dan Ibu selaku dosen pengajar serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
6. Orangtua dan keluarga kami atas segala kasih sayang dan pengertian yang telah diberikan.
7. Teman-teman Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa serta rekan-rekan K-54 atas semangat juang dan kebersamaannya.
8. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak, sehingga kami dapat menyelesaikan tugas Skripsi ini.

Kami menyadari bahwa penyusunan Skripsi ini masih perlu penyempurnaan, oleh karena itu kami mengharap saran dan kritik yang membangun. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya di bidang teknik kimia dan aplikasi industri kimia. Terima kasih.

Surabaya, Juli 2018

Penyusun

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| ABSTRAK .....  | i    |
| ABSTRACT .....   | ii   |
| KATA PENGANTAR .....   | iii  |
| DAFTAR ISI .....   | v    |
| DAFTAR GAMBAR .....  | vii  |
| DAFTAR TABEL .....   | viii |
| BAB I PENDAHULUAN  |      |
| I.1    Latar Belakang .....  | 1    |
| I.2    Rumusan Penelitian .....                                    | 3    |
| I.3    Ruang Lingkup Penelitian .....                              | 3    |
| I.4    Tujuan Penelitian .....                                     | 4    |
| I.5    Manfaat Penelitian .....                                    | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA  |      |
| II.1   Aspal Batu Buton (Asbuton) .....                            | 5    |
| II.2   Bitumen Aspal Buton .....                                   | 10   |
| II.3   Metode Pirolisis .....                                      | 12   |
| II.4   Reaksi Pirolisis untuk <i>Cracking</i> Bitumen .....        | 14   |
| II.5   Katalis .....   | 17   |
| II.6   Katalis Zeolit .....  | 19   |
| II.7   Katalis ZSM-5 .....   | 23   |
| II.8   Aktivasi Zeolit ZSM-5 .....                                 | 24   |
| II.9   Penelitian-Penelitian Bitumen yang Sudah<br>Dilakukan ..... | 26   |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN                                      |      |
| III.1  Garis Besar Penelitian .....                                | 31   |
| III.2  Langkah – Langkah Penelitian .....                          | 33   |
| III.3  Bahan yang Digunakan .....                                  | 36   |
| III.4  Alat yang Digunakan .....                                   | 36   |
| III.5  Variabel Penelitian .....                                   | 37   |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN  |      |
| IV.1  Karakterisasi Katalis ZSM-5 .....                            | 39   |

|                        |  |      |
|------------------------|--|------|
| IV.2                   | Pengaruh Kondisi Operasi Pirolisa Terhadap %Yield Produk Cair, Gas, dan Sisa Padatan Asbuton ..... | 44   |
| IV.3                   | Efektivitas Katalis ZSM-5 Terhadap <i>Cracking</i> Bitumen dari Asbuton .....                      | 51   |
| BAB V KESIMPULAN ..... |  | 53   |
| DAFTAR PUSTAKA .....   |  | ix   |
| DAFTAR NOTASI .....    |  | xiii |
| APPENDIKS A            |  | A-1  |
| APPENDIKS B            |  | B-1  |

## DAFTAR GAMBAR

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Gambar II.1</b>  | Peta Sebaran Endapan Aspal di Pulau Buton .....   | 5  |
| <b>Gambar II.2</b>  | Skema Reaksi Pirolisis Untuk <i>Cracking</i> Bitumen...   | 15 |
| <b>Gambar II.3</b>  | Skema Reaksi <i>Cracking</i> Katalitik .....  | 15 |
| <b>Gambar II.4</b>  | Mekanisme Selektifitas Zeolit .....   | 20 |
| <b>Gambar III.1</b> | Langkah – Langkah Penelitian .....  | 30 |
| <b>Gambar III.2</b> | Flowchart Proses Pirolisis dan Analisis Data .....  | 33 |
| <b>Gambar III.3</b> | Skema Percobaan Pirolisis Bitumen dalam<br>Asbuton .....  | 35 |
| <b>Gambar IV.1</b>  | Morfologi Katalis Zeolit ZSM-5 dengan<br>Perbesaran 5000x .....   | 40 |
| <b>Gambar IV.2</b>  | Komposisi Elemen pada ZSM-5 .....   | 40 |
| <b>Gambar IV.3</b>  | Gugus Fungsi yang Terkandung Dalam Katalis<br>ZSM-5 Sebelum dan Setelah Aktivasi .....  | 43 |
| <b>Gambar IV.4</b>  | Grafik Pengaruh Suhu Operasi dalam Proses<br><i>Cracking</i> Bitumen dalam Asbuton terhadap Yield<br>Produk (%) Cair, Gas, dan Sisa Padat Pada<br>Kondisi Tanpa Menggunakan Katalis ..... | 45 |
| <b>Gambar IV.5</b>  | Grafik Pengaruh Rasio Katalis ZSM-5 terhadap<br>Yield Produk Cair pada Suhu Pirolisis 350°C .....   | 46 |
| <b>Gambar IV.6</b>  | Grafik Pengaruh Rasio Katalis ZSM-5 terhadap<br>Yield Produk Cair pada Suhu Pirolisis 400°C .....   | 47 |
| <b>Gambar IV.7</b>  | Grafik Pengaruh Rasio Katalis ZSM-5 terhadap<br>Yield Produk Cair pada Suhu Pirolisis 450°C .....   | 48 |
| <b>Gambar IV.8</b>  | Grafik Pengaruh Rasio Katalis ZSM-5 terhadap<br>Yield Produk Cair pada Suhu Pirolisis 500°C .....   | 49 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabel II.1</b> Komponen Kimia Athabasca Bitumen Oil Sands .....  | 6  |
| <b>Tabel II.2</b> Komponen Kimia Aspal Alam dan Aspal Minyak .....  | 6  |
| <b>Tabel II.3</b> Perkiraan Deposit Asbuton di Daerah Lawele dan<br>Sekitarnya .....                      | 8  |
| <b>Tabel II.4</b> Sifat Fisik Aspal Asbuton dari Kabungka dan Lawele                                      | 9  |
| <b>Tabel II.5</b> Komposisi Mineral Asbuton Kabungka dan Lawele ....                                      | 10 |
| <b>Tabel II.6</b> Sifat - Sifat Senyawa Penyusun Bitumen Aspal Alam .....                                 | 11 |
| <b>Tabel II.7</b> Mekanisme Pirolisis Menurut Suhu Proses .....   | 16 |
| <b>Tabel II.8</b> Perbandingan Elemen Katalis Heterogen & Homogen   | 19 |
| <b>Tabel II.9</b> Klasifikasi Mineral Zeolit .....  | 22 |
| <b>Tabel II.10</b> Penelitian – Penelitian Bitumen yang Sudah<br>Dilakukan .....                          | 27 |
| <b>Tabel IV.1</b> Konsentrasi Elemen pada ZSM-5 .....   | 41 |
| <b>Tabel IV.2</b> Hasil Analisa BET pada ZSM-5 .....  | 42 |
| <b>Tabel IV.3</b> Suhu Pirolisis Optimal pada Tiap Rasio Katalis<br>Pirolisis Bitumen dalam Asbuton ..... | 50 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Pada tahun 2014, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2014), pertumbuhan penduduk Indonesia mencapai 252.200.000 jiwa. Pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk menuntut semakin meningkatnya kebutuhan energi yang sangat dibutuhkan dalam bidang transportasi, industri, dan rumah tangga. Bensin (gasoline), minyak tanah (kerosene) maupun minyak solar (diesel oil) merupakan bahan bakar fosil yang banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi. Berdasarkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, pada tahun 2011, kebutuhan energi fosil tercatat sebesar 10.668 juta TOE atau 82% dari total kebutuhan, dan diperkirakan akan meningkat menjadi sebesar 14.898 juta TOE pada tahun 2035. Namun menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral produksi minyak bumi Indonesia rata-rata menurun 4% tiap tahunnya, ditambah pula program pemerintah terhadap pengelolaan minyak bumi yang hanya dapat teratasi hingga 2025 saja sehingga neraca *supply and demand* terkait energi khususnya minyak bumi ini menjadi tidak seimbang.

Hal ini mendorong upaya pencarian bahan bakar alternatif sebagai pengganti suplai energi berbasis fosil. Di Pulau Buton terdapat cadangan aspal alam yang terkandung dalam deposit batuan mencapai 650 juta ton. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara penghasil aspal alam terbesar di dunia. Karena jumlahnya yang melimpah, asbuton (aspal buton) berpotensi untuk dikembangkan menjadi salah satu sumber bahan bakar alternatif. Kadar aspal (bitumen) yang terkandung dalam asbuton bervariasi, antara 10 – 40%. Ini merupakan kadar aspal yang cukup besar dibandingkan dengan kadar aspal alam negara-negara lain seperti Amerika (12 – 15%) dan Prancis (6 – 10%). Dari segi mutu, asbuton dirasa masih kalah bersaing dengan aspal minyak. Selama ini asbuton hanya dimanfaatkan sebagai bahan campuran aspal

untuk pembuatan jalan raya, dalam bentuk asbuton halus, mikro asbuton, asbuton butir, dan asbuton yang diekstrak sebagian. Sedangkan pemanfaatan bitumen sebagai bahan bakar cair masih belum banyak diketahui potensinya oleh banyak pihak.

Dalam penelitian Ma dan Li (2012) yang melakukan proses pirolisis dari hasil ekstraksi asbuton, didapatkan kandungan bitumen dalam asbuton dalam penelitian ini mencapai 30%. Berdasarkan hasil penelitian, pada suhu 380 - 480°C menghasilkan yield produk *liquid* yang relatif baik, produk gas, dan semi-coke. Hasil pada penelitian ini menggambarkan bahwa fraksi utama dalam produk *liquid* dari pirolisis adalah diesel, sekitar 52%.

Aminati dan Nugroho (2016) meneliti tentang *cracking* bitumen dari asbuton dengan menggunakan katalis zeolit klinoptilolit maupun tidak pada beberapa suhu operasi. Hasil produk cair tertinggi didapatkan pada suhu 350°C tanpa penambahan katalis dengan menghasilkan persen (%) produk cair yaitu 53,1%, sedangkan dengan penambahan katalis zeolit 5% pada suhu 400°C menghasilkan persen (%) produk cair yaitu sebesar 65,31%. Oleh karena itu, penambahan katalis dapat digunakan untuk meningkatkan massa produk cair pada suhu operasi tinggi.

Namun, zeolit klinoptilolit mempunyai kekurangan di antaranya mengandung banyak pengotor ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) serta kristalinitasnya kurang baik. Kekurangan ini menjadikan zeolit alam perlu dimodifikasi terlebih dahulu untuk menghilangkan pengotor dan meningkatkan kristalinitasnya sehingga aktivitasnya meningkat (Yuanita, 2010). Berbeda dengan zeolit alam, zeolit sintetis yang mempunyai kristalinitas baik, serta kation yang ada dalam situs penukarnya hanya tertentu ( $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ). Ada berbagai macam zeolit sintetis antara lain zeolit Y, mordenit, ZSM-5. ZSM-5 merupakan tipe zeolit yang digunakan untuk *cracking* minyak mentah dan residu kilang yang lebih berat. Selain itu, ZSM-5 memiliki permukaan inti asam, struktur jaringan pori yang luas dan homogen serta rasio Si/Al yang tinggi sehingga

mampu mempercepat berbagai jenis reaktan khususnya jenis hidrokarbon.

Berdasarkan penelitian-penelitian di atas, dapat diambil hipotesa bahwa katalitik pirolisis menggunakan katalis zeolit ZSM-5 mampu mendapatkan yield produk *liquid* yang tinggi untuk proses *cracking* bitumen di dalam asbuton. Studi mengenai proses pirolisis langsung tanpa ekstraksi untuk *cracking* bitumen masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui potensi konversi bitumen menjadi bahan bakar cair. Dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimal yang diperlukan untuk mengkonversi bitumen menjadi produk cair sebagai bahan bakar cair menggunakan katalis zeolit ZSM-5.

## **I.2. Rumusan Penelitian**

Berdasarkan hasil penelitian Eldira dan Azka (2016) tentang katalitik pirolisis untuk *cracking* bitumen dari asbuton dengan katalis zeolit alam menghasilkan yield produk cair terbaiknya yaitu sebesar 61,53% dari massa bitumen yang terkandung dalam asbuton pada kondisi suhu operasi 350°C dan rasio katalis 9%. Untuk meningkatkan hasil tersebut, perlu penelitian lebih lanjut menggunakan jenis katalis yang berbeda, yaitu menggunakan jenis katalis yang banyak digunakan dalam proses *catalytic cracking*. Untuk itu rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana efektivitas katalis zeolit ZSM-5 terhadap *cracking* bitumen dari asbuton?
2. Bagaimana pengaruh kondisi operasi pirolisa terhadap % yield masing-masing produk cair, produk gas, dan sisa padatan asbuton?

## **I.3. Ruang Lingkup Penelitian**

Pada penelitian ini masalah dibatasi pada hal – hal berikut:

1. Sampel batuan Asbuton yang digunakan berasal dari daerah Kabungka, Sulawesi Tenggara.

2. Sampel batuan Asbuton mula-mula ukurannya diseragamkan >40 mesh (>0,4 mm) menggunakan ayakan dan akan diekstraksi menggunakan metode ekstraksi soklet untuk mengetahui kadar awal bitumen.
3. Proses *cracking* bitumen dari batuan Asbuton menggunakan reaktor pirolisis yang dilengkapi oleh kondensor spiral dengan kondisi vakum menggunakan pompa vakum yang dioperasikan secara *semi-continue* selama 4-5 jam.
4. Proses yang digunakan adalah proses pirolisis katalitik dengan katalis zeolit ZSM-5.

#### **I.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari efektivitas katalis zeolit ZSM-5 untuk *cracking* bitumen dari asbuton.
2. Mempelajari pengaruh kondisi operasi pirolisa terhadap % yield masing-masing produk cair, produk gas, dan sisa padatan asbuton.

#### **I.5 Manfaat Penelitian**

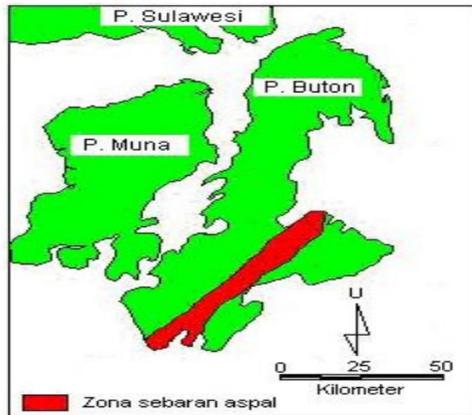
Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui kondisi terbaik yang diperlukan untuk mengkonversi bitumen menjadi bahan bakar cair yang merupakan energi alternatif pengganti minyak bumi bagi masyarakat Indonesia kedepannya dengan % yield semaksimal mungkin.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Aspal Batu Buton (Asbuton)

Aspal Batu Buton atau seringkali disebut asbuton adalah aspal alam yang terdapat di pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Asbuton pada umumnya berbentuk padat yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses terbentuknya asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang porous (Setiawan, 2011).



**Gambar II.1** Peta sebaran endapan aspal di Pulau Buton  
(Departemen PU, 2006)

Aspal batu buton atau biasa disebut asbuton ditemukan tahun 1924 di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara, Indonesia. Asbuton mulai digunakan dalam pengaspalan jalan sejak tahun 1926. Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum (2006), asbuton memiliki deposit sekitar 677 juta ton atau setara dengan 170 juta ton aspal minyak. Asbuton merupakan deposit aspal alam terbesar di dunia. Deposit aspal alam dalam jumlah yang besar juga

terdapat di negara Kanada (1,69 milyar barrel) dan Venezuela, serta di beberapa negara seperti di USA, Rusia, China, Cuba, Brazil, Trinidad, Tobago, Jordan, Madagaskar, Kolombia, Albania, Romania, Spanyol, Portugal, Nigeria, Argentina hingga Kazakhstan (15-20 milyar ton *oil sands*) (Tileuberdi, 2015).

Berdasarkan penelitian Phillips (1984) aspal alam dari Kanada yakni *Alberta oil sands* dapat diproses menjadi turunan-turunan minyak bumi dari hidrokarbon rantai panjang hingga rantai pendek melalui proses cracking dengan suhu tinggi (*thermal cracking*) dari bitumen yang terkandung dalam *oil sands*. Hasil cracking menunjukkan terdapat 6 produk yakni coke (37,6%), asphaltenes (5%), minyak fraksi berat (14%), minyak fraksi menengah (5,3%), minyak fraksi ringan (24,4%), dan gas (13,7%) pada suhu 430°C.

**Tabel II.1** Komponen Kimia Athabasca Bitumen Oil Sands

| Sampel            | Wt (%) |       |      |      |      | BM   |
|-------------------|--------|-------|------|------|------|------|
|                   | C      | H     | N    | O    | S    |      |
| <b>Bitumen</b>    | 83.15  | 10.3  | 0.40 | 1.6  | 4.58 | 540  |
| <b>Asphaltene</b> | 80.85  | 7.85  | 1.05 | 2.75 | 7.49 | 4500 |
| <b>Maltene</b>    | 84.4   | 10.65 | 0.07 | 0.85 | 3.91 | 435  |

(Selucky, 1977)

**Tabel II.2** Komponen Kimia Aspal Alam dan Aspal Minyak

| Komponen Kimia                         | Kabungka<br>a) | Lawele<br>a) | Aspal<br>Minyak<br>b) |
|--|----------------|--------------|-----------------------|
| Nitrogen (N), %                        | 29,04          | 26           | 1                     |
| <i>Acidaffins</i> (A <sub>1</sub> ), % | 6.60           | 9            | 3                     |
| <i>Acidaffins</i> (A <sub>2</sub> ), % | 8.43           | 12           | 25                    |
| <i>Paraffine</i> (P), %                | 8.86           | 11           | 26                    |
| Parameter <i>Maltene</i> , %           | 2.06           | 1            | 20                    |
| Nitrogen/ <i>Paraffine</i> , N/P       | 3.28           | 2            | 0.03                  |
| Kandungan <i>Asphaltene</i> , %        | 46.92          | 39           | 25                    |

<sup>a)</sup>Departemen Pekerjaan Umum, 2006

<sup>b)</sup>ASTM Committee D-2

Berdasarkan **Tabel II.2** dapat dilihat bahwa kandungan asphaltene dari asbuton lebih besar daripada aspal minyak. Hal ini yang membuat asbuton dapat menjadi pilihan yang lebih baik daripada aspal minyak untuk menghasilkan produk bahan bakar melalui proses *cracking*, karena kandungan asphaltene tinggi yang dimiliki.

Pada penelitian Selucky (1977) yang menganalisa mengenai komposisi bitumen Athabasca didapatkan kandungan asphaltenes sebesar 16.6% dan deasphalted oil sebesar 83.4%. Hasil analisa lebih lengkap dari bitumen, asphaltenes, dan deasphalted oil ditunjukkan pada Tabel II.1. Asphaltenes merupakan komponen utama dalam bitumen untuk proses cracking menjadi minyak (*heavy, middle, light oil*), karena memiliki berat molekul yang tinggi dimana didalamnya terdapat fraksi-fraksi ringan yang dapat dengan mudah terdistilasi. Berat molekul asphaltene biasanya diantara 1000-5000 (Ali, 1981). Sehingga potensi Asbuton dari daerah Kabungka maupun Lawele untuk menjadi minyak bumi dengan fraksi yang lebih ringan melalui proses cracking memungkinkan, dikarenakan kandungan bitumen dalam asbuton memiliki kandungan asphaltene yang tinggi seperti pada Tabel II.2.

Terdapat beberapa pendapat dari para ahli geologi mengenai terbentuknya asbuton. Affandi (2008) berpendapat bahwa terbentuknya asbuton berawal dari adanya minyak bumi yang terdistilasi secara alamiah karena adanya intrusi magma. Bagian yang ringan dari minyak bumi menguap dan residu yang berupa bitumen terdesak mengisi lapisan batuan yang ada disekitarnya melalui patahan dan rekahan.

Rumanto (1989) menyatakan bahwa asbuton terbentuk akibat dari proses destilasi alam yang melalui batuan kapur, maka asbuton tersusun dari bitumen (*aspal murni/asphaltene*) dengan mineral yang tercampur secara alami, dimana mineral-mineral itu sebagian besar terdiri dari kapur yang mengakibatkan asbuton bersifat higroskopis dan membawa dampak kurang baik terhadap konstruksi jalan (dimana kandungan air maksimum 10% dalam

konstruksi jalan). Kemampuan asbuton untuk menjadi sumber energi alternatif perlu didukung dengan ketersediaannya, pada Tabel II.3 menjelaskan mengenai perkiraan deposit asbuton.

**Tabel II.3** Perkiraan Deposit Asbuton di Daerah Lawele dan Sekitarnya

| No. | Lokasi     | Kadar bitumen (%) | Cadangan (Juta Ton) | Luas (m <sup>2</sup> ) |
|-----|------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| 1.  | Batuawu    | 20 - 40           | 60,69               | 550.000                |
| 2.  | Mempenga   | 20 – 30           | 29,232              | 280.000                |
| 3.  | Langunturu | 20 – 25           | 37,149              | 420.000                |
| 4.  | Kabukubuku | 20 – 35           | 41,325              | 570.000                |
| 5.  | Wangkaburu | 20 – 35           | 41,888              | 460.000                |
| 6.  | Siantopina | Belum diketahui   | 181,25              | 5.000.000              |
| 7.  | Ulala      | Belum diketahui   | 47,089              | 1.500.000              |

(Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

Asbuton memiliki sifat yang berbeda-beda tergantung dari daerah mana asbuton tersebut diperoleh. Sampai saat ini dikenal ada dua daerah penambangan asbuton yang banyak dimanfaatkan hasilnya, yaitu di daerah Kabungka dan Lawele. Menurut Affandi, perbedaan ini disebabkan oleh sifat bitumen yang ada didalamnya, dimana bitumen pada deposit Kabungka mempunyai nilai penetrasi yang keras < 10 dmm dibanding dengan aspal yang berasal dari Lawele dengan nilai penetrasi bisa mencapai 30 dmm bahkan lebih. Sifat yang dimiliki dari kedua asbuton tersebut berbeda. Tabel II.4 menyajikan data mengenai sifat fisik aspal asbuton dari Kabungka dan Lawele.

Asbuton memiliki dua jenis unsur utama yaitu aspal (bitumen) dan mineral. Pengertian aspal menurut American Society for Testing and Materials (ASTM) adalah suatu material yang berwarna coklat tua sampai hitam, padat atau semi padat yang terdiri dari bitumen – bitumen yang terdapat di alam atau diperoleh

dari residu minyak bumi. Sedangkan bitumen menurut ASTM adalah campuran hidrokarbon yang berasal dari alam, yang bercampur dengan turunan – turunan non logam seperti gas, liquid, semi padatan atau padatan yang larut dalam karbon disulfid. Secara umum aspal dibagi menjadi dua kelompok yaitu aspal alam dan aspal buatan. Fokus pada penelitian ini adalah *alternative energy resource* sehingga aspal alam menjadi sumber yang dibutuhkan beberapa tahun kedepan mengingat penelitian mengenai aspal alam sudah mulai berkembang. Aspal alam langsung terdapat di alam, memperolehnya tanpa proses pemasakan. Di Indonesia terdapat di Pulau Buton diistilahkan sebagai Asbuton (Aspal Batu Buton). Aspal ini merupakan campuran antara bitumen dan mineral dari ukuran debu sampai ukuran pasir yang sebagian besar merupakan mineral kapur. Sifat mekanis Asbuton menunjukkan pada temperatur <30 °C pecah dan pada temperatur 30°C - 60°C menjadi plastis selanjutnya pada temperatur 100 °C -150 °C akan menjadi cair (Departemen P.U., 2006).

Tabel II.5 berikut adalah data komposisi mineral yang terkandung dalam asbuton dari Kabungka dan Lawele. Sebagian besar dari komposisi mineral merupakan senyawa karbonat yang memiliki suhu dekomposisi yang tinggi. Kandungan mineral asbuton sebagian besar merupakan senyawa volatil sehingga dapat disimpulkan kandungan karbonatnya tinggi. Senyawa volatil yang mudah terdekomposisi adalah CaO dan SiO<sub>2</sub>. Mineral asbuton berbeda dari oil sand pada umumnya, mineral asbuton lebih cocok untuk digunakan sebagai bahan baku semen atau material bangunan lainnya (Ma & Li, 2012).

**Tabel II.4** Sifat Fisik Aspal Asbuton dari Kabungka dan Lawele

| Jenis Pengujian  | Hasil Pengujian |        |
|--|-----------------|--------|
|  | Kabungka        | Lawele |
| Kadar aspal, %   | 20              | 30,08  |
| Penetrasi, 25 <sup>0</sup> C, 100 gr, 5 detik, mm      | 0,4             | 0,36   |
| Titik Lunak ( <i>Softening point</i> ), <sup>0</sup> C | 101             | 59     |
| Kelenturan, 25 <sup>0</sup> C, 5 cm/menit, cm          | <140            | >140   |

|                                       |       |       |
|---------------------------------------|-------|-------|
| Kelarutan dalam $C_2HCl_3$ , %        | -     | 99,6  |
| Titik nyala, $^{\circ}C$              | -     | 198   |
| Berat jenis, $kg/m^3$                 | 1,046 | 1,037 |
| Penetrasi setelah TFOT, %             | -     | 94    |
| Titik Lunak setelah TFOT, $^{\circ}C$ | -     | 62    |
| Kelenturan setelah TFOT, cm           | -     | >140  |

(Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

**Tabel II.5** Komposisi Mineral Asbuton Kabungka dan Lawele

| Senyawa             | Hasil pengujian |            |
|---------------------|-----------------|------------|
|                     | Kabungka (%)    | Lawele (%) |
| $CaCO_3$            | 86,66           | 72,9       |
| $MgCO_3$            | 1,43            | 1,28       |
| $CaSO_4$            | 1,11            | 1,94       |
| CaS                 | 0,36            | 0,52       |
| $H_2O$              | 0,99            | 2,94       |
| $SiO_2$             | 5,64            | 17,06      |
| $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ | 1,52            | 2,31       |
| Residu              | 0,96            | 1,05       |

(Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

## II.2 Bitumen Aspal Buton

Bitumen yang terdapat pada Aspal Buton pada dasarnya disusun dari 4 komponen utama yaitu hidrokarbon jenuh, aromatik, resin, dan aspal murni (*asphaltenes*). Masing-masing komponen memiliki struktur dan komposisi kimia yang berbeda, dan menentukan sifat rheologi dari bitumen. Bitumen merupakan senyawa yang kompleks utamanya yang disusun oleh hidrokarbon dan atom-atom N, S, dan O dalam jumlah yang kecil, juga beberapa logam seperti Vanadium, Ni, Fe, Ca, dalam bentuk garam organik dan oksidanya. Berikut sifat-sifat dari senyawa penyusun bitumen aspal alam,

Dinyatakan oleh Nuryanto (2009) bahwa *Asphaltenes* dan resin yang bersifat polar dapat bercampur membentuk koloid atau *micelle* dan menyebar dalam aromatik dan hidokarbon jenuh.

Dengan demikian, maka bitumen adalah suatu campuran cairan kental senyawa organik, berwarna hitam, lengket, larut dalam *carbon disulfide*, dan disusun utamanya oleh *polycyclic aromatic hydrocarbons* yang sangat kompak. Sifat-sifat senyawa penyusun bitumen aspal alam ditunjukkan pada Tabel II.6.

Zou dkk (2016) melakukan analisa komposisi dari keempat senyawa penyusun bitumen dari Asbuton. Dari hasil analisa, diperoleh bitumen dari asbuton mengandung hidrokarbon jenuh atau *saturates* (22.6% wt), aromatik (17.7%), resin (28.1%), dan *ashphaltene* (31.6%).

**Tabel II.6** Sifat - Sifat Senyawa Penyusun Bitumen Aspal Alam

| <i>Asphaltene</i>  | <b>Resin</b>  | <b>Aromatik</b>                       | <i>Saturates</i>  |
|--|---|---------------------------------------|---|
| ✓ Sangat polar   | ✓ Memiliki sifat rekat yang kuat                          | ✓ Bersifat non-polar                  | ✓ Terdiri dari campuran hidrokarbon lurus, bercabang, alkil naphtene dan aromatik |
| ✓ Aromatik kompleks  | ✓ Berat molekul 500-50000                                 | ✓ Berat molekul 300-2000              | ✓ Bersifat non-polar  |
| ✓ Berat molekul 1000-100000  | ✓ Sebagai dispersing agent atau peptizer dari asphaltenes | ✓ Merupakan 40-65% dari total bitumen | ✓ Berat molekul 300-2000  |
| ✓ Semakin tinggi asphaltene-nes, maka bitumen semakin keras, kental, tinggi titik lembek-nya, dan semakin rendah harga penetrasi-nya | ✓ Tersusun oleh C dan H dan sedikit O, S, dan N           | ✓ Berwarna coklat tua                 | ✓ Berwujud cairan kental  |
| ✓ Berwarna hitam/ coklat   | ✓ Berwarna coklat tua                                     | ✓ Berwujud cairan kental              |   |
|  | ✓ Berwujud solid atau semi solid                          |                                       |   |

(Nuryanto, 2009)

### II.3 Metode Pirolisis

Metode yang biasanya digunakan saat ini untuk mendapatkan energi dari hasil olahan aspal (oil sands) adalah ekstraksi dengan media air panas, ekstraksi dengan media air dingin, ekstraksi superkritis, ekstraksi solvent, dan pirolisis. Ekstraksi dengan media air panas biasa digunakan di Kanada untuk mengekstrak bitumen dari aspal. Ekstraksi solvent atau ekstraksi pelarut adalah proses dimana bitumen terpisah dari aspal menggunakan pelarut tertentu. Metode ini hanya dapat digunakan dalam bentuk eksperimental. Tidak ada proses ekstraksi pelarut yang dikomersialisasikan di dunia saat ini karena sulitnya *recovery* pelarut sehingga kurang ekonomis. Pirolisis merupakan proses dimana aspal dipanaskan hingga suhu 500<sup>o</sup>C dengan kondisi tanpa oksigen untuk menghasilkan minyak. Setelah itu, bitumen dari aspal mengalami proses *thermal cracking* untuk menghasilkan fraksi yang lebih ringan (bensin atau solar) serta produk gas hidrokarbon (Ma & Li, 2012).

Pirolisis berasal dari kata *Pyro* (Fire/Api) dan *Lyo* (Loosening/Pelepasan) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Jadi pirolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Pirolisis merupakan suatu bentuk insinerasi yang menguraikan bahan organik secara kimia melalui pemanasan dengan mengalirkan nitrogen sebagai gas inert.

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis Fatimah (2004) mendefinisikan pirolisis adalah proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi suhu tinggi tanpa kehadiran udara (khususnya oksigen). Secara singkat pirolisis dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa oksigen. Pirolisis telah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu untuk membuat arang dari sisa tumbuhan, baru pada sekitar abad ke-18 pirolisis digunakan untuk menganalisis komponen penyusun tanaman. Secara tradisional, pirolisis juga dikenal dengan istilah kering.

Paris dkk., (2005) mengatakan bahwa pirolisis merupakan proses pengeringan dengan cara pembakaran tidak sempurna

bahan-bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Kebanyakan proses pirolisis menggunakan reaktor tertutup yang terbuat dari baja, sehingga bahan tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Pada umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 4-7 jam. Namun, keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya.

Proses pirolisis dari bitumen merupakan proses dekomposisi bitumen melalui proses pemanasan dan pemecahan struktur kimia menjadi struktur gas. Pirolisis memerlukan suhu operasi yang tinggi, untuk menurunkan temperatur pirolisis diperlukan kondisi operasi pirolisis tanpa ekstraksi pada Asbuton padat dengan temperatur operasi yang lebih rendah dalam kondisi vakum. Keuntungan dari metode ini adalah waktu yang diperlukan untuk proses pirolisis lebih singkat tanpa melewati proses ekstraksi bitumen sehingga tidak memerlukan solvent yang berbahaya dan dapat menghemat biaya.

Menurut Goyal dkk (2006), proses pirolisis secara umum dikategorikan menjadi beberapa tipe, yaitu :

1. Pirolisis Lambat (Slow Pyrolysis)

Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan yang rata – rata lambat. Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.

2. Pirolisis Cepat (Fast Pyrolysis)

Pirolisis cepat merupakan suatu proses pirolisis dengan peningkatan kecepatan kenaikan temperatur, pirolisis ini dilakukan pada lama pemanasan 0,2 – 2 detik, suhu 400 – 600°C.

3. Pirolisis Kilat (Flash Pyrolysis)

Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. Flash pyrolysis membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 – 250  $\mu\text{m}$ .

## II.4 Reaksi Pirolisis untuk *Cracking* Bitumen

Reaksi yang terjadi selama proses pirolisis untuk *cracking* bitumen adalah sebagai berikut :

### 1. Reaksi Aromatisasi

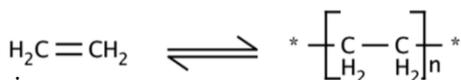
Reaksi reversibel pertukaran aromatik ion H dan H terikat atom C tersier.

### 2. Dealkilasi

Reaksi ireversibel pertukaran H melalui reaksi radikal yang dapat dilanjutkan sebagai reaksi berantai yang mempengaruhi beberapa rantai H dalam satu atau lebih molekul.

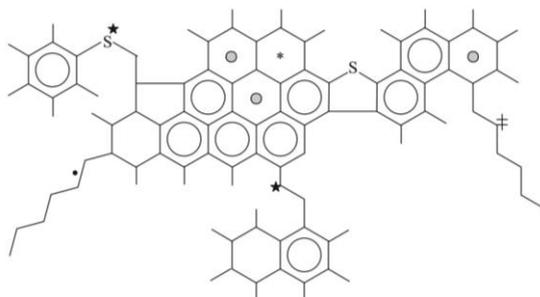
### 3. Fragmentasi

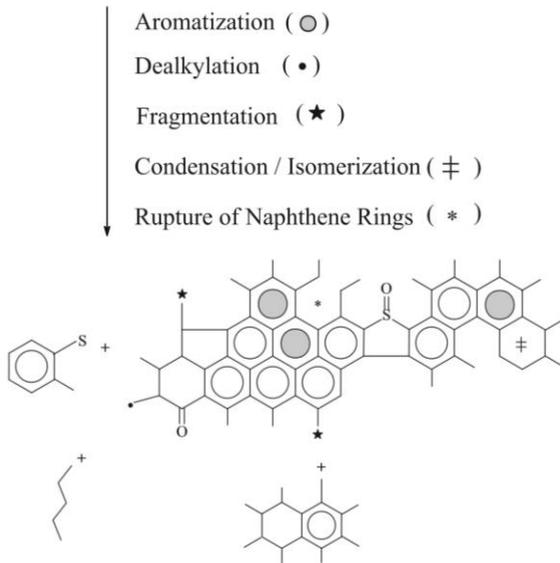
Fragmentasi mendominasi pada suhu di atas 300°C. Ini melibatkan depolimerisasi dari bitumen.



### 4. Isomerasi

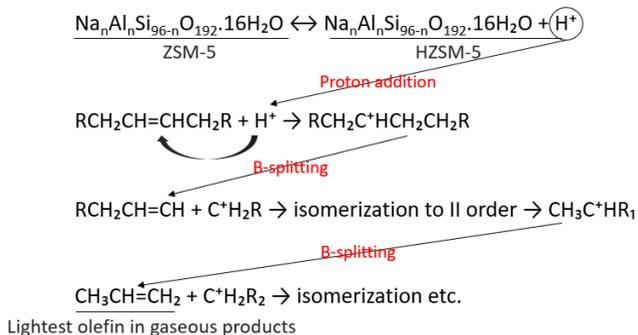
Reaksi reversible pertukaran organik H terikat O, N, atau S dalam kelompok fungsional dengan H<sub>2</sub>O.





**Gambar II.2** Skema Reaksi Pirolisis untuk *Cracking* Bitumen (Siddiqui, 2010)

Mekanisme reaksi pada proses *catalytic cracking* pada bitumen adalah sebagai berikut :



**Gambar II.3** Skema Reaksi *Cracking* Katalitik (Greensfelder, 1951)

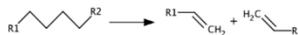
**Tabel II.7** Mekanisme Pirolisis Menurut Suhu Proses

| No. | Suhu (°C) | Mekanisme   |
|-----|-----------|---|
| 1.  | 100– 120  | Pemisahan padatan dan air, tidak ada dekomposisi senyawa  |
| 2.  | 250       | Dimana tanpa oksigen terjadi desulfurisasi, bahan rusak, pemisahan struktur air dan CO <sub>2</sub> |
| 3.  | > 250     | Pirolisis polimer, hidrogen sulfida mulai terpisah  |
| 4.  | 340       | Senyawa alifatik mulai terpisah, metana dan hidrokarbon lain terisolasi                             |
| 5.  | 380       | Karburasi   |
| 6.  | 400       | Senyawa nitrogen karbon oksigen mulai terdekomposisi  |
| 7.  | 400– 420  | Bitumen menjadi minyak  |
| 8.  | 600       | Dimana bitumen ter-cracking menjadi bahan tahan panas (fase gas, hidrokarbon rantai pendek, grafit) |
| 9.  | > 600     | Pembentukan aromatik olefin   |

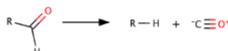
(Wang &amp; Qing, 2010)

Sedangkan menurut Dickerson dan Soria (2013) reaksi yang terjadi pada proses katalitik pirolisis antara lain :

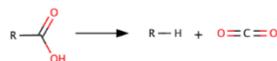
1. Cracking



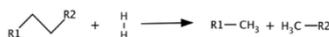
2. Dekarbonilasi



3. Dekarboksilasi



4. Hidrocracking



5. Hidrooksigenasi



6. Hidrogenasi



Proses *cracking* pada bitumen pada umumnya menggunakan bantuan katalis (*catalytic cracking*), hal ini dikarenakan untuk dapat mempercepat reaksi *cracking* tanpa merubah struktur katalis dan dengan menurunkan energi aktivasi. Pada proses pirolisis asbuton didapatkan kesimpulan semakin rendah energi aktivasi maka proses pirolisis berfokus pada perubahan hidrokarbon yang volatil serta pemutusan ikatan kimia yang lemah yakni ikatan C-O dan C-S. Pada kondisi ini komponen organik dengan molekul besar ter-*cracking* menjadi molekul yang lebih kecil termasuk pemutusan ikatan C-C, dehidrogenasi, kondensasi aromatis polisiklik, dst (Ma & Li, 2012).

## **II.5 Katalis**

Katalis adalah suatu senyawa kimia yang menyebabkan reaksi menjadi lebih cepat untuk mencapai kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimiawi di akhir reaksi. Katalis tidak mengubah nilai kesetimbangan dan berperan dalam menurunkan energi aktivasi. Dalam penurunan energi aktivasi ini, maka energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya tumbukan berkurang sehingga terjadinya reaksi berjalan cepat.

### **II.5.1 Sifat Katalis**

Katalis pada umumnya mempunyai sifat – sifat sebagai berikut:

1. Selektifitas  
Definisi selektifitas adalah daya produksi atau kemampuan katalis dalam menghasilkan produk sesuai dengan yang dikehendaki. Hal ini terjadi karena suatu zat yang berperan dalam suatu proses dapat juga menjadi penghambat pada proses lainnya, sehingga perlu diteliti setiap bagiannya dengan katalis
2. Stabilitas  
Makna stabil ini menunjukkan kemampuan menghadapi senyawa toksik yang mungkin dapat merusak kinerja dari katalis itu sendiri

3. Umur  
Umur katalis menunjukkan rentang waktu bagi katalis untuk bertahan pada level yang mencukupi sesuai kinerja katalis yang diinginkan
4. Aktifitas  
Suatu katalis memiliki keaktifan masing – masing yang berbeda dalam mengubah bahan baku menjadi produk. Keaktifan ini didapat dari kombinasi bahan kimia dan bahan mineralogi, sehingga dapat diketahui katalis tersebut aktif dalam melakukan proses katalis disertai dengan produk baru yang diinginkan.
5. Kekuatan mekanik  
Kekuatan mekanik merupakan suatu kondisi yang harus dimiliki katalis sehingga bila proses menghendaki tekanan dan temperatur tinggi katalis itu dapat digunakan.
6. Kemudahan regenerasi  
Sifat mudah diregenerasi harus dimiliki oleh katalis sehingga pada saat katalis dioperasikan gangguan yang terjadi dapat diminimumkan.

### **II.5.2 Penggolongan Katalis**

Katalis dapat digolongkan berdasarkan fasa katalis, reaktan, dan produk hasil reaksi, sebagai contohnya adalah katalis heterogen dan katalis homogen. Penggolongan ini berdasarkan pada fasa katalis yaitu:

1. Katalis heterogen  
Katalis yang berbeda fasa dengan reaktan dan produk reaksinya. Katalis jenis ini memiliki pusat aktif yang tidak seragam dan tidak semua bagian permukaannya berfungsi sebagai pusat aktif. Pusat aktif katalis heterogen berada pada permukaan pori-pori padatan. Katalis jenis ini berfungsi untuk melakukan proses rengkahan hidrokarbon.
2. Katalis homogen  
Katalis yang berfasa sama dengan reaktan. Katalis ini memiliki aktivitas dan selektivitas tinggi karena setiap

molekul katalis bersifat aktif sebagai katalis yang tidak mudah teracuni oleh adanya sedikit kotoran.

Berikut ini adalah tabel perbandingan elemen katalis heterogen dan homogen, yaitu:

**Tabel II.8** Perbandingan Elemen Katalis Heterogen & Homogen

| Elemen katalis              | Homogen   | Heterogen   |
|-----------------------------|---|---|
| Pusat aktivitas             | Semua atom memiliki reaktivitas   | Hanya atom – atom pada permukaan pertikel                 |
| Konsentrasi yang dibutuhkan | Rendah  | Tinggi  |
| Selektifitas                | Tinggi  | Rendah  |
| Sifat difusi                | Secara praktiknya tidak ada (kinetika yang mengendalikan jalannya reaksi) | Ada (perpindahan massa yang mempengaruhi jalannya reaksi) |
| Suhu reaksi                 | 50 – 200 °C   | > 250 °C  |
| Penggunaan                  | Spesifik  | Luas  |
| Struktur/stokiometri        | Mudah ditentukan  | Sulit ditentukan  |
| Kemungkinan modifikasi      | Tinggi  | Rendah  |
| Daya tahan suhu             | Rendah  | Tinggi  |
| Teknik pemisahan            | Destilasi, ekstraksi  | Suspensi, filtrasi  |

(Chen, 2014)

## II.6 Katalis Zeolit

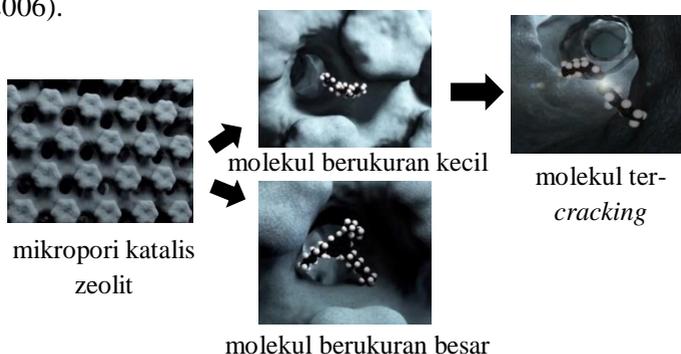
Togar (2012) menyatakan bahwa Zeolit menurut *J.V Smith* pada tahun 1984 adalah mineral dengan struktur kristal alumina silikat yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran serta mengandung ion-ion logam seperti Na, K, Mg, Ca dan Fe serta molekul air. Pertama kali zeolit ditemukan oleh seorang ahli mineralogi asal Swedia bernama *Axel Frederick Cronstedt* pada tahun 1756. Mineral yang ditemukan

akan dengan cepat melepaskan air bila dipanaskan dan seolah-olah mendidih. Sehingga mineral alam ini dinamakan zeolit yang dalam bahasa Yunani berarti batu didih (*zeo: boil* dan *lythe : stone*).

Komposisi kimia dan sifat dari zeolit alam ini banyak dipengaruhi oleh kondisi hidrotermal lingkungan sekitar seperti temperatur, tekanan uap dan komposisi air tanah dilokasi tempat pembentukan zeolit alam. Maka tidak mengherankan apabila ditemukan zeolit alam yang berbeda komposisi kimia yang dengan zeolit alam dari lokasi lain meskipun warna dan teksturnya sama, sehingga akan menimbulkan beragam jenis zeolit alam yang terbentuk. Tabel II.9 menunjukkan klasifikasi mineral zeolit alam lengkap dengan rumus kimia.

Zeolit merupakan salah satu katalis yang dapat digunakan untuk memecah molekul berat terutama asphaltenes dan light hidrokarbon. Selain itu, katalis zeolit memiliki pori-pori yang sangat kecil (mikropori), sehingga mampu mencegah molekul-molekul besar seperti mineral yang terkandung dalam Asbuton untuk masuk ke dalam situs aktif. Sehingga mikropori pada katalis terisi oleh bitumen yang akan di-*cracking*.

Katalis berpori dengan pori – pori yang sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Zeolit mempunyai tingkat transisi selektifitas maka zeolit disebut sabagai katalis selektif bentuk / *shape – selective* (Saputra, 2006).



**Gambar II.4** Mekanisme Selektifitas Zeolit (Troy & Ivan, 2013)

Menurut Eddy (2006), zeolit mempunyai kenampakan berwarna putih kecoklatan, putih kehijauan, hijau gelap, abu-abu muda dan abu-abu gelap apabila segar dan putih kehijauan sampai kecoklatan membentuk semacam alur-alur kehijauan menyerupai per lapisan semu, berbintik-bintik putih dan kuning berbutir halus sampai agak kasar, padu, kompak, agak keras namun sebagian mudah hancur bila dipalu.

Secara umum, zeolit berfungsi sebagai katalis padatan memiliki beberapa karakterisasi, antara lain:

- Mempunyai kapasitas adsorpsi yang tinggi
- Dapat memisahkan atau mereaksikan produk dan reaktan
- Luas permukaan yang besar, memiliki dimensi pori molekuler
- Adanya kemungkinan melakukan *preactivation* molekul ketika pori-pori oleh medan listrik kuat dan kekangan molekul

Lestari (2010) Menyatakan menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis.

a. Zeolit alam

Zeolit alam merupakan mineral yang terbentuk karena adanya proses perubahan alam (zeolitisasi). Di alam banyak dijumpai zeolit dalam lubang batuan lava dan dalam batuan sedimen terutama sedimen piroklasik berbutir halus. Jenis zeolit di alam terdiri dari hampir 50 spesies, antara lain zeolit Klinoptilolit, Analsim, Kabasit, Erionit, Faujasit, Ferrierit, dan Heulandit. Pada proses pembentukannya, mineral zeolit yang terbentuk lebih dahulu adalah Klinoptilolit dan Filupsit yang merupakan mineral penurun bagi mineral zeolit yang lain. Di Indonesia jenis zeolit yang terbesar adalah Klinoptilolit dan Modenit.

**Tabel II.9** Klasifikasi Mineral Zeolit

| Zeolit                   | Rumus Kimia   |
|--------------------------|---|
| <b>Grup Analsim</b>      |   |
| Analsim                  | $\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$                                 |
| Wairakit                 | $\text{Ca}_8[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$                                    |
| <b>Grup Natrolit</b>     |   |
| Natrolit                 | $\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$                                 |
| Thomsonit                | $\text{Na}_{16} \text{Ca}_8 [\text{Al}_{20}\text{Si}_{20}\text{O}_{80}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$                   |
| <b>Grup Heulandit</b>    |   |
| Heulandit                | $\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$                                      |
| Klinoptilolit            | $\text{Na}_{26}[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$                                   |
| Group Filipsit           |   |
| Filipsit                 | $\text{K}_2\text{Ca}_{15}[\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$                         |
| Zeolit Na-P-1            | $\text{Na}_8[\text{Al}_{31}\text{SiO}_{16}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$   |
| <b>Grup Mordenit</b>     |   |
| Mordenit                 | $\text{Na}_8[\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$                                      |
| Ferrierit                | $\text{NaCa}_{0,5}\text{Mg}_2[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$                     |
| <b>Grup Kabasit</b>      |   |
| Kabasit                  | $\text{Ca}_2[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}] \cdot 13\text{H}_2\text{O}$   |
| Zeolit L                 | $\text{K}_6\text{Na}_3[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}] \cdot 21\text{H}_2\text{O}$                            |
| <b>Grup Faujasit</b>     |   |
| Faujasit                 | $\text{Na}_{12}\text{Ca}_{12}\text{Mg}_{11}[\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}] \cdot 235\text{H}_2\text{O}$ |
| Zeolit A                 | $\text{Na}_{12}[\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$                                |
| <b>Grup Laumontit</b>    |   |
| Laumontit                | $\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{46}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$                                      |
| <b>Grup Pentasil</b>     |   |
| ZSM -5                   | $\text{Na}_n[\text{Al}_n\text{Si}_{96}\text{O}_{192}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$                                     |
| <b>Grup Zeotype</b>      |   |
| $\text{AlPO}_4\text{-5}$ | $[\text{Al}_{12}\text{P}_{12}\text{O}_{48}] (\text{C}_3\text{H}_7)_4 \text{NOH } q \text{ H}_2\text{O}$               |

(Togar, 2012)

Zeolit alam banyak ditemukan di India, Siprus, Jerman, dan Amerika Serikat, sedangkan daerah di Indonesia yang diperkirakan mempunyai cadangan zeolit

sangat besar dan berpotensi untuk dikembangkan, yaitu Jawa Barat dan Lampung.

b. Zeolit Sintesis

Zeolit sintesis merupakan hasil rekayasa manusia melalui proses kimia yang dibuat secara laboratorium ataupun dalam skala industri dan memiliki sifat khusus sesuai dengan kaperluannya. Sifat zeolit sangat tergantung dari jumlah komponen Al dan Si. Oleh sebab itu, zeolit sintesis dikelompokkan menjadi tiga jenis, berdasarkan perbandingan kadar komponen Al dan Si dalam zeolit, yaitu:

- Zeolit Si  
Zeolit ini sama sekali tidak mengandung sisi kation (Al), bersifat sangat hidrofilik-hidrofobik, sehingga dapat mengeluarkan atau memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air.
- Zeolit dengan kadar Si rendah  
Zeolit jenis ini kaya Al, dan memiliki pori-pori, komposisi serta saluran rongga optimum, sehingga memiliki nilai ekonomi tinggi karena sangat efektif untuk proses pemisahan atau pemurnian dalam skala besar.
- Zeolit dengan kadar Si tinggi  
Sifat zeolit jenis ini sangat hidrofilik dan akan menyerap molekul yang tidak polar dan baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon.

## II.7 Katalis ZSM-5

Widayat (2017) menyatakan bahwa ZSM-5 adalah zeolit sintetis yang mengandung silika (Si) dan alumina (Al) dengan perbandingan silika lebih besar dari alumina. Katalis ini dikenal sebagai ZSM-5 karena memiliki diameter pori 5 Å (angstrom) dan rasio Si/Al lebih dari 5. Katalis tersebut memiliki biaya produksi

yang tinggi dan proses produksi yang kompleks yang sangat dipengaruhi oleh waktu dan suhu.

Katalis yang banyak digunakan dalam proses *catalytic cracking* adalah zeolit. Zeolit merupakan katalis terbaik untuk proses oil cracking karena memiliki stabilitas termal yang tinggi, memiliki struktur *microcrystalline*, dan mampu memusatkan reaktan yang terkandung di dalam pori-pori. Selain itu, kerangka aluminosilikat zeolit memberikan kapasitas pertukaran kation tinggi, adsorpsi tinggi, dan memiliki sifat hydrationdehydration. Namun, penggunaan zeolit sebagai katalisator memiliki keterbatasan karena memiliki pori-pori yang sempit. Karena hal ini, komponen reaktan yang memiliki ukuran molekul besar akan mengalami kesulitan dalam proses perpindahan massa.

Katalis ZSM-5 (Zeolites Socony Mobil-5) pertama kali dibuat oleh Argauer dan Landolt yang kemudian dipatenkan oleh Mobil Oil Corporation tahun 1972. ZSM-5 merupakan zeolit sintesis yang mengandung silika (Si) dan aluminium (Al) dimana rasio Si lebih besar daripada Al. Adanya rasio Si/Al ini membuat ZSM-5 memiliki sifat keasaman. Sifat ini membuat ZSM-5 memiliki fungsi sebagai katalis pendukung, adsorben, dll. ZSM-5 memiliki ukuran inti (0,54 nm x 0,56 nm). Katalis ini mampu digunakan untuk proses katalitik *cracking*.

## **II.8 Aktivasi Zeolit ZSM-5**

Aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan cara fisika maupun kimia. Secara fisika, aktivasi zeolit dilakukan dengan cara pemanasan. Proses aktivasi secara fisika dapat dilakukan dengan kalsinasi ZSM-5 pada suhu 500-800 °C dengan waktu kalsinasi 5 dan 7 jam untuk mengetahui morfologi dan kristalinitas ZSM-5. Sisi aktif ZSM-5 akan terbuka setelah terbentuk HZSM-5 (ZSM-5 dalam bentuk yang telah terprotonasi) pada kondisi kalsinasi 600°C dan waktu 5 jam yang menghasilkan kristalinitas cukup baik yakni 44,0927% (Widayat, 2017).

Tujuan dari proses kalsinasi pada zeolit ZSM-5 adalah untuk meningkatkan jumlah situs asam secara signifikan.

Pemanasan saat kalsinasi menyebabkan hilangnya amorf, maupun pengotor organik dari katalis. Situs asam yang tertutup oleh amorfus ataupun pengotor organik tidak dapat menyerap basa adsorbat. Situs asam yang mulanya tertutup oleh pengotor menjadi teraktivasi dan dapat menyerap basa adsorbat. Hal ini menunjukkan bahwa proses kalsinasi dapat mengaktifkan katalis dengan cara meningkatkan situs asamnya, karena asam pada katalis ( $H^+$ ) yang mampu berperan untuk merengkah hidrokarbon. Katalis zeolit dapat dikatakan aktif ketika telah terbentuk situs asam yang dapat dibuktikan melalui uji FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*) dan kristalinitas melalui uji XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk menunjukkan bahwa semakin tinggi kristalinitasnya maka amorfnya semakin berkurang namun tidak merusak struktur pentasil sebagai kristal utama penyusun zeolit ZSM-5 dan menunjukkan bahwa selektifitas terhadap fraksi minyak bumi yang diinginkan semakin tinggi pula (Majid, 2012).

Selain secara fisika, aktivasi zeolit juga dapat dilakukan secara kimia dengan penambahan pereaksi kimia yang dilakukan di dalam bak pengaktifan dengan NaOH dan  $H_2SO_4$ , dimaksudkan untuk memperoleh temperatur yang dibutuhkan dalam aktivasi. Zeolit yang telah diaktivasi perlu dikeringkan terlebih dahulu, pengeringan ini dapat dilakukan dengan cara menjemurnya di bawah sinar matahari (Saputra, 2006).

Terdapat berbagai macam cara untuk aktivasi katalis zeolit ZSM-5 :

a. Protonasi dengan pertukaran amonium

ZSM-5 diprotonasi dengan bantuan 1M  $NH_4NO_3$  pada suhu ruangan, kemudian ZSM-5- $NH_4$  dicuci dengan air pada suhu ruangan kemudian dipanaskan hingga suhu 770K. Hasil analisa menunjukkan bahwa kandungan ZSM-5 setelah aktivasi adalah Na  $0,38 \pm 0,01$  wt%, Al  $3,14 \pm 0,01$  wt%, Cl  $0,1 \pm 0,1$  wt%.

b. Dengan larutan HCl

ZSM-5-H ditambahkan dengan 0,6M  $HCl_{(aq)}$  pada suhu ruangan selama 24 jam ( $38,5 \text{ cm}^3$  of  $HCl/g$  dari zeolit). Kemudian zeolit dibersihkan kembali dengan memanaskan

semalaman dengan suhu 500K. Hasil analisa menunjukkan bahwa kandungan ZSM-5 setelah aktivasi adalah Na  $0,14 \pm 0,01$  wt%, Al  $3,14 \pm 0,01$  wt%, Cl  $0,2 \pm 0,1$  wt%.

c. Dengan larutan  $\text{HNO}_3$

ZSM-5-H ditambahkan dengan  $0,6M$   $\text{HNO}_{3(aq)}$  kemudian langkah yang sama dilakukan seperti pada point (b).

d. Dengan larutan HF

ZSM-5-H ditambahkan dengan  $0,6M$   $\text{HF}_{(aq)}$  kemudian langkah yang sama dilakukan seperti pada point (b).

e. Dengan gas HCl pada kondisi reaksi

ZSM-5-H direaksikan dengan *feed* berupa campuran etanol anhidrat dan  $3M$   $\text{HCl}_{(aq)}$ . *Feed* mengandung 2g HCl/100 g *feed*, kemudian *feed* ini berubah menjadi bentuk uap yang akan melewati katalis pada suhu 673K selama 4 jam dengan tekanan reaktor 1 atm. Hasil analisa menunjukkan kandungan ZSM-5 setelah aktivasi adalah Cl  $0,2 \pm 0,1$  wt%.

f. Dengan 1,2-dichloroethane pada kondisi reaksi

Sama halnya pada point (e) namun *feed* pada reaksi berupa etanol wt 96% dan 1,2-dichloroethane wt 4% (Anderson, 1980).

## II.9 Penelitian – Penelitian Bitumen yang Sudah Dilakukan

Pada tahun – tahun awal, tidak ada penelitian yang berfokus secara menyeluruh pada pembakaran bitumen sebagai proses pemulihan, sebagian besar fokus pada potensi untuk meningkatkan bitumen untuk bahan bakar API yang lebih tinggi dengan *thermal cracking*. Dari sekitar 1971 dan seterusnya, studi *thermal cracking* bitumen masih difokuskan terutama pada penggunaan pirolisis untuk meningkatkan bitumen sebagai nilai tambah produk seperti bahan bakar transportasi. Penggunaan katalis pun sangat berpengaruh dalam proses *cracking* ini.

**Tabel II.10** Penelitian – Penelitian Bitumen yang Sudah Dilakukan

| No. | Penulis            | Percobaan  | Hasil   |
|-----|--------------------|--|---|
| 1.  | Phillips dkk, 1984 | Bitumen yang di <i>thermal cracking</i> dengan dan tanpa <i>oil sands</i> pada 360, 400 dan 420 °C.  | Produk yang dihasilkan adalah <i>coke</i> , aspal, minyak berat, minyak ringan dan gas. Hasil <i>coke</i> dan gas dari campuran bitumen dan <i>oil sands</i> lebih tinggi daripada yang hanya berasal dari bitumen.   |
| 2.  | Lee dkk, 2011      | Katalitik <i>cracking</i> bitumen <i>oil sands</i> pada <i>fixed bed</i> reaktor dengan katalis nanopori pada kondisi atmosfer.                                  | Aktivitas katalitik tertinggi adalah Meso – LKM yang memproduksi hasil gas tinggi karena ukuran pori yang besar dan keasaman yang kuat. Ukuran pori bahan nanopori lebih berperan daripada asam lemah atau luas permukaan, tampaknya memegang peran penting dalam <i>cracking</i> bitumen <i>oil sands</i> .  |
| 3.  | Zhao & Yu, 2011    | Reaksi <i>thermal hydrocrackin g</i> dan <i>catalitic hydrocrackin g</i> dengan katalis NiMo/ $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dari campuran pentana tak | Dalam penelitian ini disebutkan residu bitumen mengandung sejumlah besar makromolekul seperti asphaltenes. Konsentrasi tinggi hetero-atom, logam, karbon dan senyawa polar di asphaltenes mengganggu upgrade dan konversi bitumen dengan adanya proses seperti pembentukan <i>coke</i> dan deaktivasi katalis. Kesimpulan dari penelitian ini adalah dibandingkan dengan <i>thermal</i> |

| No. | Penulis                   | Percobaan  | Hasil   |
|-----|---------------------------|--|---|
|     |                           | larut dari Athabasca bitumen pada 430 °C.  | <i>hydrocracking</i> , <i>catalitic hydrocracking</i> meningkatkan produksi produk cair dan menghambat pembentukan <i>coke</i> secara efektif.  |
| 4.  | Ma dan Li, 2012           | Ekstraksi dan pirolisis pada bitumen Asbuton dilakukan pada suhu 600°C.              | Pirolisis dengan energi aktivasi rendah terutama pada perubahan hidrokarbon teradsorpsi dan pecahnya ikatan kimia lemah, seperti, ikatan C - O dan ikatan C - S. Hasil pada penelitian ini menggambarkan bahwa fraksi utama dalam produk <i>liquid</i> dari pirolisis adalah diesel, sekitar 52%. Sedangkan yield produk gas dari pirolisis kurang dari 5% dengan kandungan gas dengan % volume masing-masing CH <sub>4</sub> 23,31%, H <sub>2</sub> 20,21%, CO <sub>2</sub> 16,05%, H <sub>2</sub> S 7,48%, CO 3,02% dan C <sub>2</sub> - C <sub>4</sub> 27,94%. |
| 5.  | Aminati dan Nugroho, 2016 | Proses Katalitik Pirolisis Untuk Cracking Bitumen Dari Asbuton Dengan Katalis Zeolit | Disebutkan Dari penelitian ini hasil (%) produk cair yang terbentuk tertinggi sebesar 65,31% dari massa bitumen awal pada kondisi operasi 400°C dengan penambahan 5% katalis zeolite.   |
| 6.  | Peng He, 2016             | Peningkatan Bitumen Secara Parsial   | Minyak mentah yang sebagian di- <i>upgrade</i> dapat dengan mudah dihasilkan dari aspal di bawah lingkungan metana pada kondisi   |

| No. | Penulis                         | Percobaan   | Hasil  |
|-----|---------------------------------|---|--|
|     |                                 | Menggunakan Katalis Mo/ZSM-5 di Bawah Kondisi Metana                                      | ringan (400 °C dan 3 MPa) tanpa keterlibatan H <sub>2</sub> di bawah fasilitasi 5% Mo / ZSM-5 (SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 23: 1).   |
| 7.  | Susianto, Eldira dan Azka, 2016 | Proses Katalitik Pirolisis Untuk Cracking Bitumen dari Asbuton dengan Katalis Zeolit Alam | Yield produk cair tertinggi yang diperoleh pada tiap suhu bergantung pada jumlah penambahan katalis. Semakin banyak katalis yang digunakan semakin kecil suhu yang diperlukan untuk mencapai yield produk cair yang paling optimal. Apabila suhu pirolisis ditingkatkan diatas suhu optimalnya maka yield produk cair akan menurun. Yield produk cair tertinggi sebesar 61.531% diperoleh dalam kondisi suhu pirolisis 350°C dengan penambahan 9% katalis. |

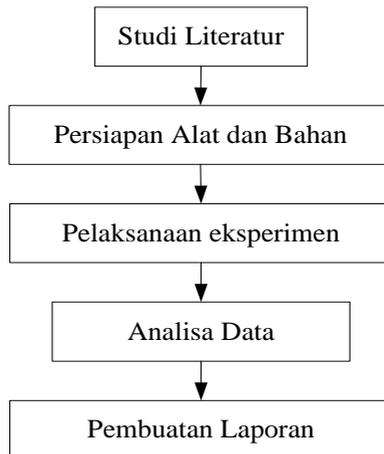
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### III.1 Garis Besar Penelitian

Secara garis besar pelaksanaan proses katalitik pirolisis untuk *cracking* bitumen dari asbuton dilakukan secara eksperimen di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, Teknik Kimia, ITS. Bahan baku yang digunakan adalah Asbuton dari Lawele, Sulawesi Tenggara. Dalam penelitian ini dilakukan proses katalitik pirolisis bitumen dari Asbuton, dimana Asbuton sebagai bahan baku yang mengandung bitumen dicracking dengan suhu tinggi menggunakan katalis zeolit ZSM-5 lalu dicampurkan di dalam reaktor pirolisis yang kemudian dioperasikan secara vakum dan *semi-continue*. Uap yang dihasilkan kemudian dikondensasikan melalui kondensor spiral dengan bantuan air dingin.

Untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian maka ditempuh metodologi seperti pada **Gambar III.1** berikut



**Gambar III.1** Langkah – langkah penelitian

- **Studi Literatur**

Tahapan pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mencari literatur yang berkaitan dengan tema yang penulis ambil. Hal ini untuk menyakinkan alasan penulis melakukan penelitian dengan mempertimbangkan perkembangan penelitian yang berkaitan dan potensi yang akan didapatkan. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari jurnal-jurnal nasional maupun internasional yang mendukung analisa hasil penelitian nantinya. Selain itu, studi literatur juga dilakukan dengan diskusi bersama dosen pembimbing.

- **Persiapan Alat dan Bahan**

Tahapan kedua yaitu mempersiapkan peralatan dan bahan yang digunakan dalam eksperimen. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor katalitik pirolisis yang telah tersedia di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa. Bahan baku utama yang digunakan menggunakan asbuton yang berasal dari Lawele, Sulawesi Tenggara. Sedangkan untuk bahan pendukung didapatkan dari gudang bahan Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa.

- **Pelaksanaan Eksperimen**

Tahapan ketiga yaitu melaksanakan eksperimen dengan prosedur yang telah ditelaah dari berbagai literatur. Pelaksanaan eksperimen dilaksanakan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa.

- **Analisa Data**

Tahapan keempat yaitu menganalisa hasil eksperimen. Analisa Data dilakukan melalui beberapa literatur dan uji hasil di beberapa laboratorium luar. Analisa data juga dilakukan dengan berdiskusi dengan dosen pembimbing.

- **Pembuatan Laporan**

Tahapan kelima yaitu menyusun laporan penelitian berdasarkan hasil eksperimen dan analisa data yang dilakukan. Dalam penyusunan laporan akan didampingi oleh dosen pembimbing.

## **III.2 Langkah - Langkah Penelitian**

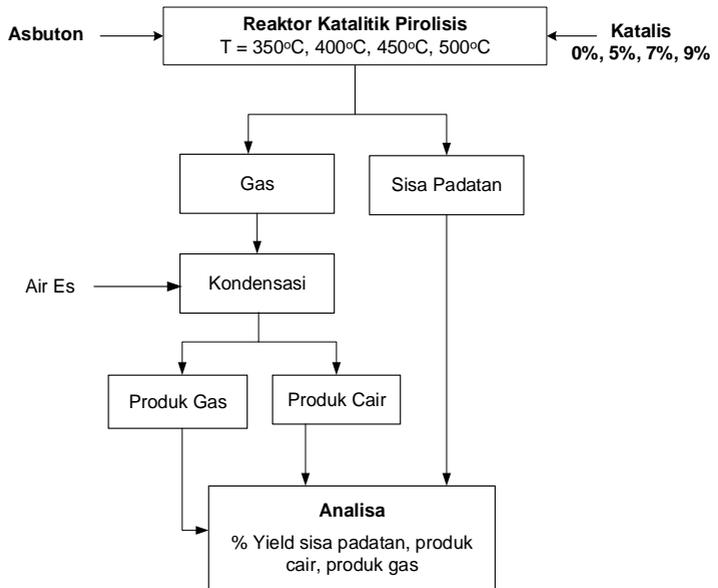
Secara garis besar prosedur dalam penelitian ini terbagi menjadi 5 tahapan, yaitu tahap persiapan bahan baku, tahap aktivasi katalis, tahap analisis kadar bitumen awal, tahap *cracking* bitumen dalam asbuton, dan tahap analisis data. Untuk mekanisme pirolisis yang terjadi dalam *cracking* bitumen hingga analisa data dapat ditunjukkan pada **Gambar III.2**. Bahan baku asbuton dan katalis yang telah melalui tahap persiapan bahan baku akan masuk ke dalam reaktor katalitik pirolisis dengan kondisi tekanan vakum dan dalam beberapa variabel suhu pirolisis. Proses pirolisis ini berlangsung hingga produk gas hasil pirolisis tidak diproduksi lagi. Dari proses pirolisis ini akan terbentuk produk cair dan produk gas yang tidak terkondensasi serta sisa padatan yang tertinggal di dalam reaktor. Kemudian akan dilakukan analisa terhadap ketiga produk tersebut.

### **III.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku**

Tujuan dari persiapan bahan baku ini adalah untuk menyeragamkan diameter partikel Asbuton dengan cara memperkecil ukurannya menggunakan *crusher/hammer* kemudian disaring dengan ayakan sebesar 40 mesh (0,4 mm).

### **III.2.2 Tahap Analisis Kadar Bitumen Awal**

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui kadar bitumen awal dalam Asbuton. Pertama, kadar bitumen dalam batuan dianalisis melalui metode ekstraksi menggunakan soklet. Yang perlu dilakukan pertama adalah menghilangkan kadar air dalam batuan asbuton dalam oven pada suhu  $\pm 110^{\circ}\text{C}$ . Kemudian menimbang massa asbuton awal, dan selanjutnya dilakukan ekstraksi menggunakan soklet. Pelarut yang digunakan adalah TCE (*Trichloroethylene*) karena merupakan pelarut yang baik untuk senyawa organik (bitumen) sesuai SNI 03-3640-1994. Kemudian dihitung massa mineral yang masih tertinggal.



**Gambar III.2** Flowchart proses pirolisis dan analisis data

Sehingga dapat dihitung massa bitumen yang terekstrak, yakni selisih antara massa asbuton awal dan massa mineral yang tertinggal.

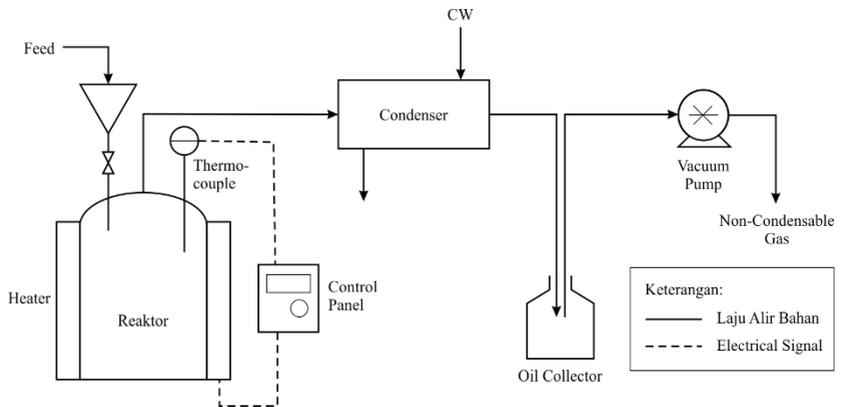
$$\text{Kadar Bitumen} = \frac{\text{Massa Bitumen Terekstrak}}{\text{Massa Asbuton}} \times 100\% \quad (1)$$

### III.2.3 Tahap *Cracking* Bitumen dalam Asbuton

Proses *cracking* bitumen menggunakan proses pirolisis dengan katalis dalam keadaan vakum. Tahap ini dilakukan di tangki reaktor berdiameter 11,4 cm dan tinggi 14 cm yang dilengkapi dengan *inlet feed* dengan *valve*. Pada proses *cracking* bitumen dari batuan asbuton digunakan *wire heater* dengan daya 2500 Watt yang menyelimuti bagian dinding luar reaktor, hal ini

diharapkan panas yang dihantarkan akan merata ke seluruh bagian reaktor. Bagian luar reaktor dipasang wool isolator yang berguna untuk mengurangi *heat loss* dari *heater*. Pada percobaan ini *cracking* bitumen diberikan perlakuan tanpa menggunakan katalis dan dengan menggunakan katalis, katalis yang digunakan adalah katalis zeolit ZSM-5.

Tahap ini dimulai dengan menimbang massa asbuton dan katalis yang diperlukan dengan persen massa katalis terhadap massa asbuton sesuai dengan variabel. Selanjutnya asbuton dan katalis yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam toples kaca untuk diaduk agar campuran asbuton dan katalisnya merata. Setelah kurang lebih 5 menit diaduk, campuran *feed* dimasukkan ke *inlet feed* kemudian ditutup dengan penutup acrylic. Sebelum proses pirolisis dimulai, tangki reaktor dioperasikan secara vakum menggunakan *vacuum pump* 1 stage dengan daya  $\frac{1}{4}$  HP dan *heater* diset sesuai variabel suhu pirolisis dengan tingkat kenaikan suhu setiap  $20^{\circ}\text{C}$  hingga suhu yang diinginkan. Saat suhu operasi telah menunjukkan suhu yang diinginkan, valve dibuka agar *feed* turun semua kedalam reaktor dan terjadi proses *flash pyrolysis*. Gas yang terbentuk dari proses ini akan dikondensasi pada kondensor spiral dengan panjang 2 meter yang didinginkan menggunakan air es yang dijaga suhunya pada  $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$ . Produk cair ditampung didalam labu buchner, sedangkan gas yang tidak terkondensasi (produk gas) ditampung didalam *gas sampler bag*. Pirolisis dilakukan sampai produk cair berhenti menetes dan gas tidak diproduksi lagi. Kemudian % yield produk yang terbentuk masing-masing dianalisa dan % konversi bitumen. Skema pirolisis dan rangkaian alat pirolisis untuk mendapatkan produk bitumen dalam asbuton digambarkan seperti **Gambar III.3** berikut ini.



**Gambar III.3** Skema percobaan pirolisis bitumen dalam asbuton

### III.2.4 Analisa Data

Analisa yang akan dilakukan adalah analisa untuk mengetahui jumlah persen *yield* (%) yang diperoleh dari perbandingan massa produk cair terhadap massa bitumen dalam asbuton. Massa bitumen dalam asbuton didapatkan dengan menghitung kadar awal bitumen dari massa asbuton yang digunakan sebagai feed.

$$\% \text{ Yield produk cair} = \frac{\text{massa produk cair}}{\text{massa bitumen dalam asbuton}} \times 100\% \quad (2)$$

### III.3 Bahan yang Digunakan

1. Asbuton Kabungka
2. Katalis Zeolit ZSM-5
3. Air es
4. TCE (*Trichloroethylene*)

### III.4 Alat Yang Digunakan

#### III.4.1 Peralatan Persiapan Bahan Baku

1. *Hammer*
2. Ayakan 40 mesh (0,4 mm)

#### III.4.2 Peralatan Proses Ekstraksi Bitumen menggunakan *Trichloroethylene*

1. Ekstraktor Soklet
2. Labu alas datar
3. Klem Holder dan Statif
4. Kondensor Refluks
5. Pemanas
6. Gelas ukur 10 ml
7. Kertas saring
8. Stopwatch
9. Termometer

#### **III.4.3 Peralatan Proses Pirolisis Bitumen dalam Asbuton**

1. Tangki reaktor *stainless steel*
2. *Controller*
3. *Thermocouple*
4. *Wire heater*
5. Wool isolator
6. Erlenmeyer 250 mL
7. Kondensor spiral tembaga
8. Wadah kondensor
9. Labu buchner vakum 500 mL
10. Selang kondensor
11. Pompa kondensor
12. *Vacum pump* 1 stage ¼ HP dan perlengkapannya
13. *Gas sampler bag*
14. Neraca Analitik kapasitas 2 kg

### **III.5 Variabel Penelitian**

#### **III.5.1 Kondisi yang ditetapkan**

1. Massa Asbuton = 228 gram
2. Jenis katalis = Zeolit ZSM-5

#### **III.5.2 Variabel Masukan**

1. Suhu pirolisis = 350 °C, 400°C, 450°C, 500°C

2. Ratio Katalis : Asbuton = 0%, 5%, 7%, 9% terhadap massa asbuton

### **III.5.3 Variabel Respon**

1. Persen (%) *yield* produk:

$$\% \text{ Yield produk} = \frac{\text{massa produk}}{\text{massa asbuton}} \times 100\% \quad (3)$$

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu meliputi karakterisasi katalis ZSM-5, pengaruh kondisi operasi pirolisa terhadap %yield produk cair, produk gas, dan sisa padatan asbuton, serta mengenai efektivitas katalis ZSM-5 terhadap *cracking* bitumen dari asbuton. Adapun kondisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah *feed* asbuton yaitu 228 gram, variabel rasio katalis zeolit ZSM-5 yang divariasikan 0%, 5%, 7%, dan 9% dari jumlah asbuton yang digunakan, serta variabel suhu pirolisis yang divariasikan dari 350°C, 400°C, 450°C hingga 500°C. Katalis ZSM-5 dengan rumus kimia  $\text{Na}_n[\text{Al}_n\text{Si}_{96}\text{O}_{192}]\text{I}6\text{H}_2\text{O}$  dengan perbandingan Si/Al 25 ini berperan sebagai agen selektifitas dan dicampur dengan asbuton secara merata lalu dimasukkan ke dalam reaktor sebagai *feed*. Kadar awal bitumen diperoleh 18,86 % yang didapatkan dengan proses ekstraksi soklet dengan pelarut *Trichloroethylene* (TCE) terhadap *feed* asbuton dari Daerah Kabungka, Pulau Buton Sulawesi Tenggara.

#### **IV.1 Karakterisasi Katalis ZSM-5**

Katalis ZSM-5 yang digunakan merupakan ZSM-5 dengan rasio Si/Al 25, yang berarti kandungan Si lebih banyak 25x lipat dibandingkan Al. Metode uji yang digunakan untuk karakterisasi katalis ZSM-5 adalah metode SEM, XRF, BET, dan FTIR. Katalis ZSM-5 ini dianalisa karakterisasinya sebelum dan sesudah aktivasi. Prosedur aktivasi katalis ini menggunakan aktivasi secara fisik untuk menganalisa apakah pori-porinya telah aktif dan katalis telah terprotonasi dengan kalsinasi katalis pada furnace dengan suhu 600°C selama 5 jam. Tujuan dari keempat uji ini untuk membandingkan karakter katalis sebelum dan sesudah aktivasi.

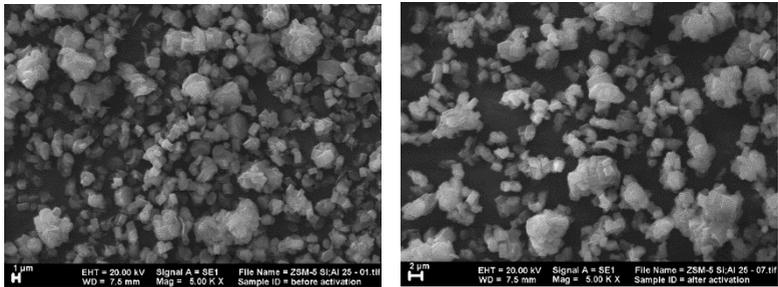
Peran katalis untuk proses *cracking* bitumen dalam asbuton pada penelitian ini dapat dilihat dari segi fisik maupun kimia. Pada segi fisik katalis ZSM-5 aktif untuk meng-*cracking*

bitumen karena pori-pori nya yang berukuran mikro (13,87 Å). Pada segi kimia katalis ZSM-5 memiliki ikatan OH diantara ikatan Al dan Si yang menyusun pori-pori katalis, peran gugus OH ini dapat sebagai *ion exchanger* antara katalis dengan hidrokarbon pada bitumen dalam asbuton . Hal ini karena pada saat *cracking bitumen* katalis ZSM-5 merupakan sisi asam Bronsted aktif (Bronsted acid sites) sesuai jurnal *Zeolites as catalysts in oil refining* oleh Primo (2014).

Metode SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar dari sampel dengan cara memindai permukaan sampel dengan sinar yang terfokus dari elektron sehingga dihasilkan macam-macam sinyal dari permukaan sampel. Sinyal yang diperoleh dari interaksi elektron dengan sampel memperlihatkan informasi tentang sampel termasuk morfologi luar (tekstur), komposisi kimia, struktur kristal. Digunakan uji SEM pada katalis ZSM-5 untuk mengetahui struktur kristal katalis apakah telah memenuhi sebagai katalis untuk *cracking* bitumen dari asbuton.

Berdasarkan hasil uji SEM pada Gambar IV.1 terlihat bahwa ZSM-5 memiliki struktur *mycrocrystalline* dan berpori molekuler sehingga morfologi seperti ini mampu membuat bitumen ter-*cracking*. Katalis berpori dengan pori – pori yang sangat kecil akan memuat molekul – molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Pada gambar (a) dan gambar (b) tampak tidak ada perbedaan morfologi pada katalis, sehingga katalis telah aktif secara struktur morfologinya.

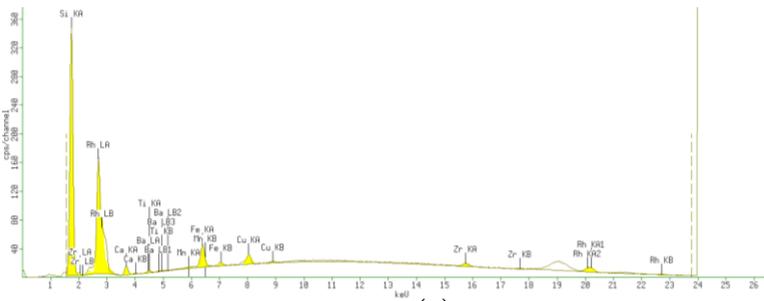
Metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) merupakan teknik analisa non-destruktif yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk ataupun sampel cair. Digunakan uji XRF untuk mengetahui komposisi di dalam katalis yang mampu membuat bitumen ter-*cracking* lebih banyak.



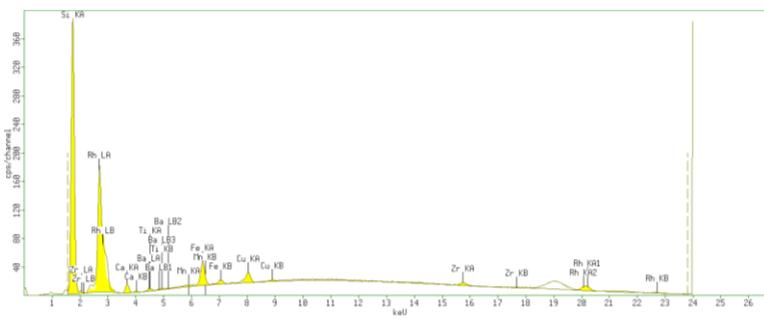
(a)

(b)

**Gambar IV.1** Morfologi Katalis Zeolit ZSM-5 dengan Perbesaran 5000x sebelum aktivasi (a) dan sesudah aktivasi (b)



(a)



(b)

**Gambar IV.2** Komposisi Elemen pada ZSM-5 sebelum aktivasi (a) dan sesudah aktivasi (b)

**Tabel IV.1** Konsentrasi Elemen pada ZSM-5

| Unsur | Konsentrasi (%) |         | Senyawa                        | Konsentrasi (%) |         |
|-------|-----------------|---------|--------------------------------|-----------------|---------|
|       | Sebelum         | Sesudah |                                | Sebelum         | Sesudah |
| Si    | 97,7            | 97,8    | SiO <sub>2</sub>               | 99,1            | 99,2    |
| Ca    | 1               | 0,95    | CaO                            | 0,41            | 0,36    |
| Ti    | 0,09            | 0,08    | TiO <sub>2</sub>               | 0,04            | 0,04    |
| Mn    | 0,062           | 0,058   | MnO                            | 0,022           | 0,02    |
| Fe    | 0,521           | 0,49    | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,202           | 0,185   |
| Cu    | 0,18            | 0,16    | CuO                            | 0,058           | 0,05    |
| Zr    | 0,09            | 0,08    | ZrO <sub>2</sub>               | 0,032           | 0,027   |
| Ba    | 0,3             | 0,33    | BaO                            | 0,1             | 0,07    |

Gambar IV.2 dan Tabel IV.1 menunjukkan konsentrasi elemen pada ZSM-5 menggunakan metode XRF sebelum dan sesudah aktivasi. Dapat dilihat bahwa ZSM-5 memiliki kandungan Si paling banyak sehingga ZSM-5 yang digunakan tergolong jenis katalis zeolit sintetis dengan kadar Si tinggi. Hal ini sesuai teori bahwa zeolit dengan kadar Si tinggi memiliki sifat hidrofilik dan dapat berperan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Pada ZSM-5 ini terdapat logam-logam oksida yang dapat berperan sebagai penyangga pada pori-pori dalam ZSM-5 agar sisi aktif dari katalis ini tetap terbuka sehingga dapat membantu proses *cracking* bitumen. Pada gambar (a) dan gambar (b) tampak tidak ada perbedaan komposisi pada katalis, sehingga katalis telah aktif secara komposisinya.

Metode BET (*Brunauer-Emmett-Teller*) merupakan metode uji untuk menjelaskan proses adsorpsi fisik dari molekul gas pada permukaan suatu padatan sebagai basis untuk menganalisa luas permukaan dari material tertentu. Digunakan uji BET untuk mengetahui luas permukaan, diameter pori-pori, dan volume pori-pori dari ZSM-5. Kemampuan ZSM-5 untuk meng-*cracking* bitumen terletak pada pori-porinya yang bersifat *microporous* sehingga rantai-rantai panjang dari bitumen dapat terpotong menjadi molekul-molekul dengan rantai yang lebih

pendek, hal ini pula yang dapat membuktikan secara teori bahwa ZSM-5 memiliki selektifitas yang sesuai untuk *cracking* bitumen dengan diameter pori-pori sebesar  $\pm 5 \text{ \AA}$ .

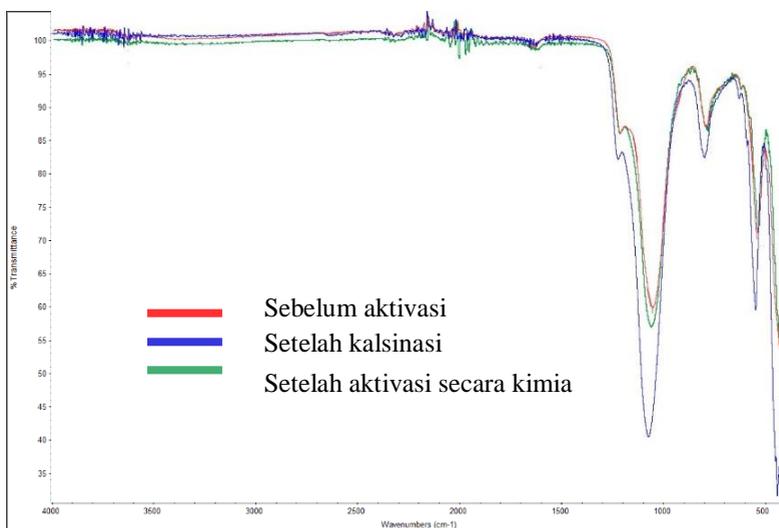
**Tabel IV.2** Hasil Analisa BET pada ZSM-5

|  | <i>Multi-Point Plot</i> |                | <i>Average Pore Size</i> |                |
|--|-------------------------|----------------|--------------------------|----------------|
|  | <b>Sebelum</b>          | <b>Sesudah</b> | <b>Sebelum</b>           | <b>Sesudah</b> |
| <b><i>Surface Area (m<sup>2</sup>/g)</i></b> | 308,152                 | 172,397        | -                        | -              |
| <b><i>Pore Volume (cc/g)</i></b>             | -                       | -              | 0,186                    | 0,1196         |
| <b><i>Pore Radius (Å)</i></b>                | -                       | -              | 12,073                   | 13,8731        |

Tabel IV.2 menunjukkan hasil analisa BET sebelum dan sesudah diaktivasi menghasilkan hasil analisa yang sama, hanya berbeda di ukuran luas permukaan yang semakin kecil akibat pemanasan suhu tinggi pada furnace. Hasil analisa ini menunjukkan bahwa ukuran pori-pori dari ZSM-5 sebesar 13,8731 Å, tergolong pori-pori mikro (*micropore*) karena ZSM-5 memiliki ukuran pori-pori antara 5-20 Å. Pada ukuran ini zeolit dapat berfungsi untuk menghasilkan bahan bakar hasil dari *cracking* minyak bumi (*oil refining*) (Primo & Garcia, 2014). Hal ini dikarenakan hidrokarbon rantai panjang ter-*cracking* menjadi hidrokarbon dengan rantai lebih pendek melalui pori-pori selektif ZSM-5.

Metode FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan salah satu spektroskopi yang mendasarkan pada vibrasi suatu molekul. Metode ini mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75-1,00  $\mu\text{m}$ . Spektroskopi inframerah berfokus pada wavelength 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ . Digunakan uji FTIR untuk mengetahui adanya ikatan gugus dalam katalis ZSM-5 yakni gugus OH. Hasil yang

didapat pada katalis ZSM-5 ini tidak mengandung gugus OH seperti pada Gambar IV.3 baik sebelum maupun sesudah aktivasi secara fisik. Digunakan pula proses aktivasi secara kimia menggunakan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  dengan tujuan untuk menghasilkan HZSM-5 melalui proses pertukaran kation, namun hasilnya juga menunjukkan tidak terdapat kandungan gugus OH. Pada Gambar IV.3 dapat dilihat bahwa tidak ada perubahan pada gugus dalam katalis baik sebelum maupun sesudah diaktivasi, sehingga katalis ZSM-5 yang digunakan sisi keaktifannya terletak pada segi fisik (ukuran pori-pori selektif).



**Gambar IV.3** Gugus fungsi yang terkandung dalam katalis ZSM-5 sebelum dan setelah aktivasi

#### **IV.2. Pengaruh Kondisi Operasi Pirolisa Terhadap %Yield Produk Cair, Gas, dan Sisa Padatan Asbuton**

Kondisi operasi pirolisa yang ditentukan sebagai variabel adalah suhu operasi dan rasio katalis ZSM-5 terhadap massa asbuton yang digunakan. Yield produk cair, gas, dan sisa padatan

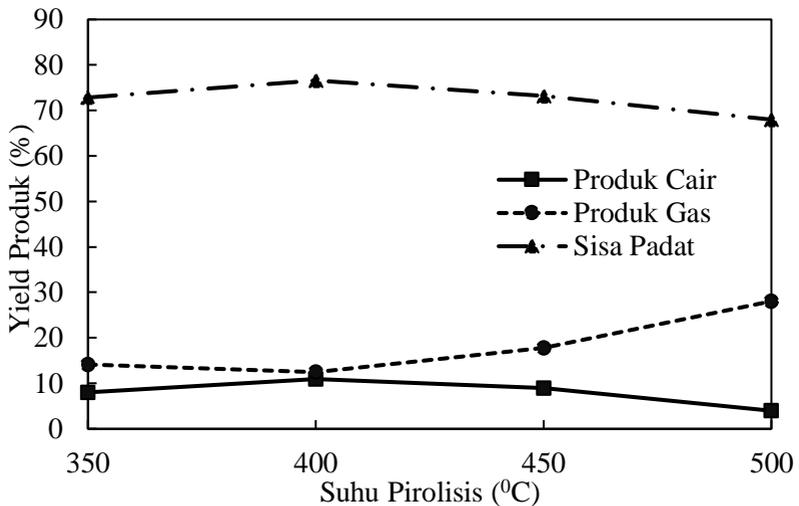
asbuton digunakan sebagai parameter tercapainya tujuan penelitian untuk mengetahui kecenderungan dan kondisi optimum pirolisis terhadap masing-masing produk.

#### **IV.2.1 Pengaruh Suhu Operasi Pirolisa Terhadap %Yield Produk Cair, Gas, dan Sisa Padatan Asbuton**

Pengaruh suhu pirolisis terhadap %yield produk cair, produk gas, dan sisa padatan asbuton dapat ditunjukkan dengan eksperimen pada kondisi 0% rasio katalis. Suhu pirolisis yang digunakan adalah 350°C, 400°C, 450°C, dan 500°C. Variabel ini mengacu pada penelitian Wang & Qing (2010) bahwa suhu optimal pirolisis untuk mengonversi bitumen menjadi minyak terjadi pada suhu antara 380 – 420°C, sehingga batas bawah variabel suhu pirolisis ditetapkan 350°C dan batas atasnya 500°C. Berdasarkan penelitian sebelumnya tentang *cracking* bitumen asbuton dengan zeolit alam oleh Eldira dan Azka yang menggunakan variabel suhu 300 – 500°C, produk cair yang dihasilkan pada suhu 300°C tidak menunjukkan hasil yang maksimal baik ketika menggunakan katalis maupun tanpa katalis. Oleh karena itu, pada penelitian ini variabel suhu 300°C tidak digunakan.

Dari **Gambar IV.3** menunjukkan bahwa dengan adanya kenaikan suhu pirolisis, yield produk cair akan meningkat hingga suhu 400°C, namun ketika suhu pirolisis ditingkatkan menjadi 450°C dan 500°C yield produk cair berkurang yang disertai dengan kenaikan yield produk gas.

Pada suhu pirolisis 350°C, bitumen yang terkonversi menjadi yield produk cair dan produk gas masih lebih sedikit dibandingkan pada suhu pirolisis 400°C. Hal ini menandakan bahwa proses pirolisis masih belum terjadi secara optimal, penjelasan ini didukung oleh penelitian Lababidi dkk (2014) dimana *asphaltenes* yang merupakan kandungan utama dari bitumen mulai mengalami *cracking* pada suhu 380°C.



**Gambar IV.3.** Grafik pengaruh suhu operasi dalam proses *cracking* bitumen dalam asbuton terhadap yield produk (%) cair, gas, dan sisa padat pada kondisi tanpa menggunakan katalis

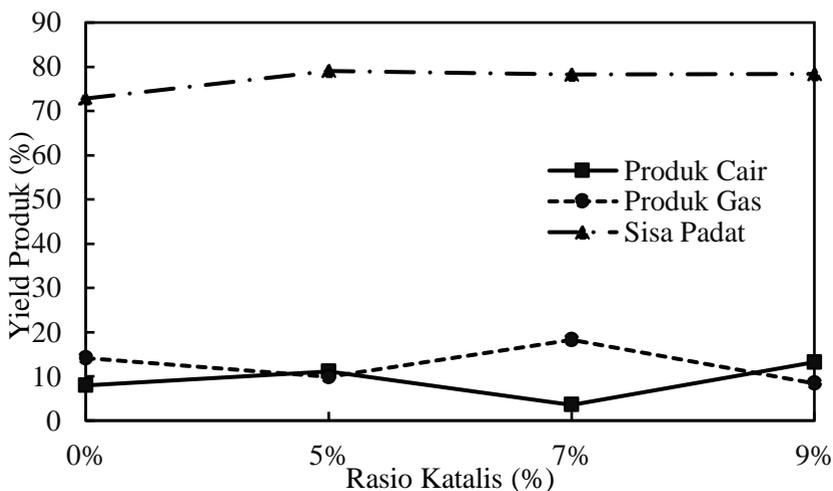
Dalam penelitian ini, diperoleh %yield produk cair tertinggi sebesar 10.95% terhadap massa asbuton yang tercapai pada suhu 400°C dimana pada suhu tersebut *asphaltenes* yang terkandung dalam bitumen telah mengalami proses *cracking* menjadi senyawa dengan rantai yang lebih pendek. Hasil ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Ma dan Li (2012) yang menyatakan proses *cracking* bitumen menghasilkan produk cair terbanyak pada rentang suhu 380°C-480°C.

Pada suhu 450°C dan 500°C, produk cair hasil pirolisis mengalami penurunan dengan %yield produk cair sebesar 9.01% dan 3.97% secara berturut-turut. Hal ini sesuai penelitian yang dilakukan oleh Aminati dan Nugroho (2015) bahwa bitumen yang terkonversi menjadi produk cair mengalami penurunan pada suhu operasi pirolisis 500°C. Penjelasan ini didukung oleh penelitian Wang dan Qing (2010) tentang mekanisme pirolisis yang menunjukkan bahwa proses bitumen ter-*cracking* menjadi minyak

terjadi pada suhu 400-420°C sehingga pada suhu di atas itu, bitumen lebih banyak ter-*cracking* menjadi fase gas, hidrokarbon rantai pendek, dan grafit yang tidak dapat terkondensasi pada suhu 20°C.

#### IV.2.2 Pengaruh Rasio Katalis ZSM-5 Terhadap %Yield Produk Cair, Produk Gas, dan Sisa Padatan Asbuton Pada Tiap Suhu Pirolisis

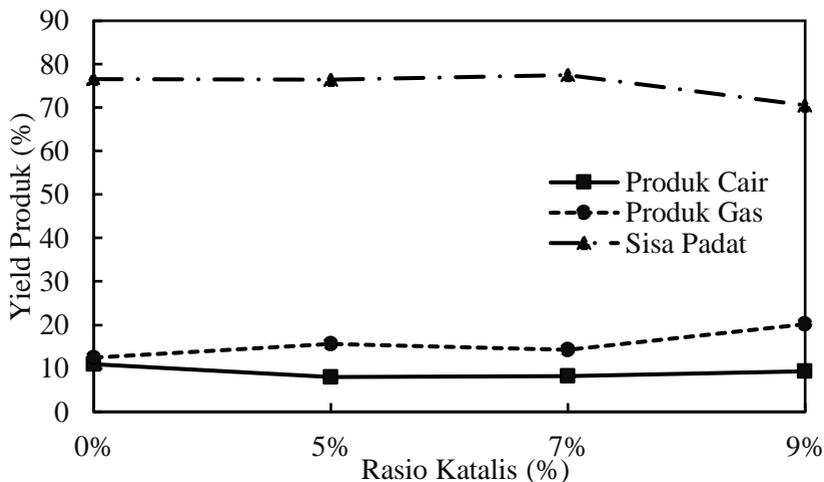
Produk cair hasil proses *cracking* diharapkan mampu menghasilkan yield tertinggi guna memperoleh bahan bakar cair dengan jumlah yang besar. Oleh karena itu, pada subbab ini akan dijelaskan pengaruh rasio katalis ZSM-5 guna mendapatkan produk cair dari hasil proses *cracking* bitumen yang terkandung dalam asbuton yang dijabarkan pada berbagai kondisi suhu operasi.



**Gambar IV.4.** Grafik pengaruh rasio katalis ZSM-5 terhadap yield produk cair pada suhu pirolisis 350°C

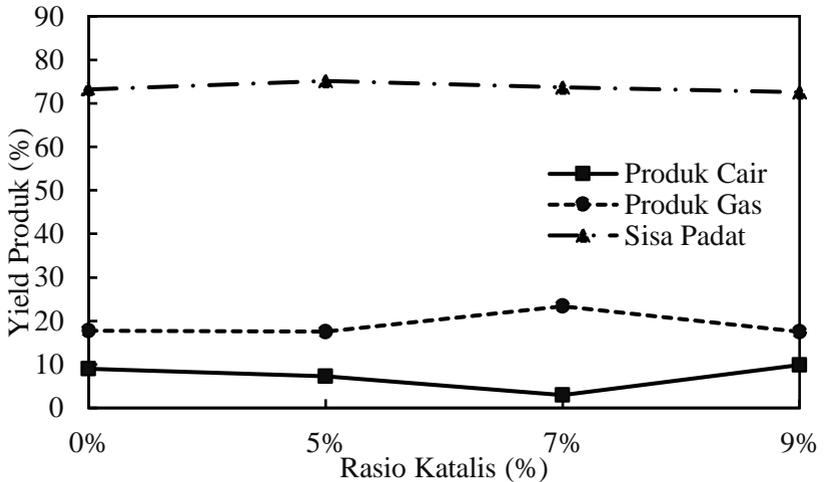
**Gambar IV.4** menggambarkan pengaruh rasio katalis ZSM-5 terhadap yield produk cair pada suhu pirolisis 350°C. Dapat dilihat bahwa %yield produk cair meningkat dengan rasio 5%

katalis dan 9% katalis berturut-turut sebesar 7.99% dan 11.06% terhadap massa asbuton. Namun %yield produk cair turun menjadi 3.54% pada rasio 7% katalis.



**Gambar IV.5.** Grafik pengaruh rasio katalis ZSM-5 terhadap yield produk cair pada suhu pirolisis 400°C

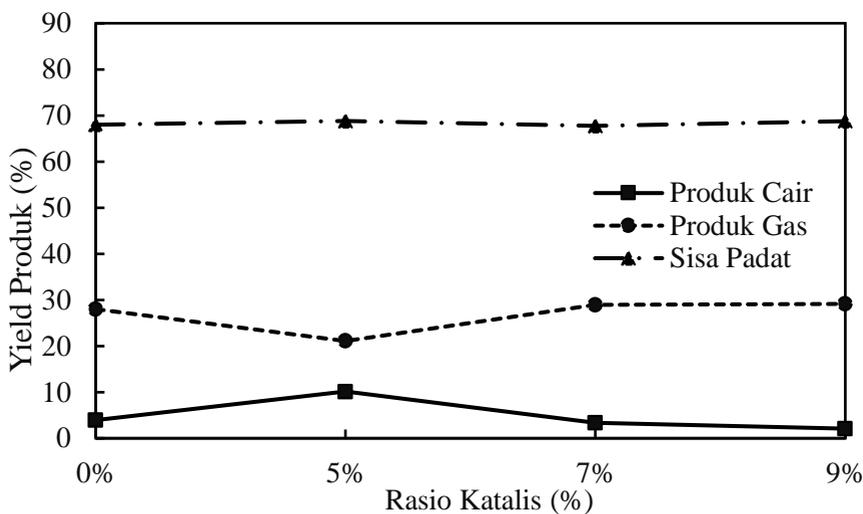
Pada suhu pirolisis 400°C yang ditunjukkan dengan **Gambar IV.5** adanya peningkatan rasio katalis tidak berpengaruh pada %yield produk cair. Yield produk cair yang dihasilkan cenderung menurun dengan hasil maksimal diperoleh dari rasio 0% katalis sebesar 10.95%. Sedangkan yield produk gas terbesar dihasilkan pada rasio 9% katalis sebesar 20.16%.



**Gambar IV.6.** Grafik pengaruh rasio katalis ZSM-5 terhadap yield produk cair pada suhu pirolisis 450°C

Pada **Gambar IV.6** yang menjelaskan pengaruh rasio katalis ZSM-5 terhadap yield produk cair pada suhu 450°C, dapat dilihat bahwa dengan peningkatan rasio katalis, yield produk cair mengalami penurunan hingga pada rasio 7% katalis dengan yield terendah 2.96%. Pada rasio 9% katalis, yield produk cair meningkat menjadi 9.88%.

Pengaruh rasio katalis ZSM-5 terhadap yield produk cair pada suhu pirolisis 500°C yang ditunjukkan dengan **Gambar IV.7** menunjukkan bahwa yield produk cair meningkat pada rasio 5% katalis yaitu 10.15%. Setelah itu, yield produk cair turun pada rasio 7% katalis dan menunjukkan yield produk cair terendah pada rasio 9% katalis sebesar 2.09%.



**Gambar IV.7.** Grafik pengaruh rasio katalis ZSM-5 terhadap yield produk cair pada suhu pirolisis 500°C

Berdasarkan data di atas, dengan adanya peningkatan rasio katalis, yield produk cair yang dihasilkan tidak selalu mengalami kenaikan. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh katalis ZSM-5 masih tidak konsisten terhadap yield produk cair dan gas. Tidak konsistennya pengaruh katalis terhadap yield produk cair yang dihasilkan dapat disebabkan karena kurangnya homogenitas antara katalis dengan asbuton. Hal ini bisa dipengaruhi oleh fase asbuton dan katalis yang sama-sama berupa padatan. Ketika feed dimasukkan ke dalam reaktor yang telah menunjukkan suhu pirolisis yang ditentukan, bitumen dalam asbuton seketika berubah menjadi uap dan langsung tertarik oleh pompa vakum menuju kondenser. Perubahan fase secara mendadak ini, menyebabkan kontak antara bitumen dengan katalis kurang maksimal, sehingga masih ada bitumen yang belum ter-*cracking*, dan menyebabkan produk cair yang dihasilkan menjadi tidak konsisten. Kontak antara bitumen dengan katalis akan berlangsung lebih optimal ketika

dicampurkan dalam keadaan salah satunya berfase *liquid*, atau dengan membuat sistem *fixed bed reactor* untuk katalisnya.

Proses pencampuran dilakukan dengan mengocok katalis dengan asbuton dalam suatu wadah kaca selama 3 menit. Dalam pencampuran ini, asbuton dan katalis dianggap telah tercampur sempurna dan distribusinya merata, sehingga, tidak konsistennya produk *liquid* yang disebabkan oleh homogenitasnya, tidak disebabkan oleh pencampuran yang kurang merata.

Berdasarkan penelitian Ma dan Li tentang *cracking* bitumen dari asbuton dengan proses ekstraksi dan pirolisis, dapat diketahui bahwa produk cair sebesar 52% yang diperoleh memiliki titik didih pada suhu 180 - 360 °C, yang merupakan titik didih bahan bakar mesin diesel. Namun, untuk mengetahui bahwa bitumen telah ter-*cracking* menjadi rantai karbon yang lebih pendek, perlu dilakukan uji lebih lanjut dengan uji ASTM D-86.

### **IV.3. Efektivitas Katalis ZSM-5 Terhadap *Cracking* Bitumen Dari Asbuton**

Fokus penelitian ini adalah untuk menghasilkan bahan bakar cair dari proses *cracking* bitumen dalam asbuton. Untuk mengoptimalkan proses dan mendapatkan produk yang maksimal dibutuhkan katalis yang efektif.

**Tabel IV.3.** Suhu Pirolisis Optimal Pada Tiap Rasio Katalis Pirolisis Bitumen dalam Asbuton

| <b>Persentase Katalis</b> | <b>Suhu Pirolisis Optimal</b> | <b>%Yield Produk Cair</b> |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 0%                        | 400°C                         | 58.05                     |
| 5%                        | 350°C                         | 58.63                     |
| 7%                        | 400°C                         | 43.53                     |
| 9%                        | 350°C                         | 70.07                     |

Pada **Tabel IV.3** dapat dilihat bahwa suhu pirolisis yang optimal untuk setiap kondisi rasio katalis berada pada 350-400°C.

Pada jurnal yang ditulis oleh Vamvuka (2011), dijelaskan bahwa bahan-bahan jenis aspal akan terpirolisis menjadi minyak dan gas pada rentang suhu 400°C – 420°C. Namun dengan penambahan katalis ZSM-5, *asphaltenes* telah dapat ter-*cracking* pada suhu 350°C. Hal ini dapat dikarenakan kehadiran katalis dapat menurunkan energi yang diperlukan untuk meng-*cracking* bitumen.

Pada penelitian tentang katalitik pirolisis untuk *cracking* bitumen dari asbuton dengan katalis zeolit alam oleh Susianto, dkk (2016), %yield produk cair tertinggi yang dihasilkan sebesar 61,531% pada suhu operasi 350°C dengan rasio katalis terhadap asbuton 9%. Pada penelitian ini digunakan, reaktor dengan *heater jacket* dilengkapi kondensor spiral dan pompa vakum, namun perbedaannya terletak pada operasi pirolisisnya. Pada penelitian ini menggunakan prinsip operasi *flash pyrolysis* dimana *feed* campuran asbuton dan katalis ZSM-5 dimasukkan secara langsung ketika suhu operasi sudah menunjukkan variabel suhu yang diinginkan. Pada penelitian Susianto, dkk menggunakan operasi *fast pyrolysis* dimana *feed* campuran asbuton dan katalis dimasukkan terlebih dahulu ke dalam reaktor kemudian suhu dinaikkan dari suhu ruang hingga suhu yang ditentukan. Dalam penelitian ini dapat dilihat bahwa kondisi terbaik untuk mendapatkan %yield produk cair tertinggi dengan melakukan pirolisis bitumen yang terkandung dalam asbuton adalah pada suhu 350°C dengan rasio 9% katalis dengan %yield produk cair sebesar 70.07%.

Dari hal ini dapat dilihat bahwa pengaruh katalis zeolit ZSM-5 dapat memberikan %yield produk cair (bahan bakar cair) hasil *cracking* bitumen dari asbuton yang lebih efektif dibandingkan jika menggunakan katalis zeolit alam dilihat dari %yield produk cair yang dihasilkan. Potensi %yield produk cair hasil *cracking* bitumen menggunakan katalis ZSM-5 ini masih memiliki potensi untuk menghasilkan yield yang lebih besar lagi.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

1. Penggunaan ZSM-5 sebagai katalis mampu menghasilkan yield produk cair hingga 70.07% pada suhu pirolisis 350°C dengan rasio 9% katalis. Apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang menggunakan katalis zeolit alam, dapat disimpulkan bahwa katalis ZSM-5 lebih efektif dalam meningkatkan %yield produk cair hasil *cracking* bitumen dari asbuton.
2. Kondisi optimum tanpa katalis adalah pada suhu pirolisis 400°C yakni *yield* produk cair 58.05%. Saat suhu pirolisis dinaikkan, yield produk cair akan menurun dan diiringi dengan peningkatan yield produk gas. Pengaruh suhu operasi dan rasio katalis memberikan hasil yield produk cair yang tidak konsisten dikarenakan perbedaan ukuran katalis dengan asbuton.

#### **V.2. Saran**

1. Perlu dilakukan analisa karakterisasi produk cair dan gas menggunakan analisa GC dan GC-MS guna mengetahui lebih jelas komponen yang terdapat dalam produk.
2. Perlu dilakukan penyeragaman ukuran dari katalis ZSM-5 dengan *feed* asbuton yang digunakan dalam proses pirolisis katalitik.
3. Perlu dilakukan analisa sisa padatan dengan menggunakan ekstraksi soklet guna mengetahui jumlah bitumen yang masih tersisa dalam padatan sehingga dapat diketahui lebih pasti jumlah bitumen yang tidak terpirolisis.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, F. 2008. *Hasil Pemurnian Asbuton Lawele Sebagai Bahan Pada Campuran Beraspal Untuk Perkerasan Jalan*. Jurnal Jalan – Jembatan, Vol 23 No.3.
- Ali, L. H., Al-Dubooni, I. A. and Al-Saigh, H. Y. 1981. “*Investigations into asphaltenes in heavy crude oils. I. Effect of temperature on precipitation by alkane solvents*”. Fuel Volume 60, Issue 11
- Aminati, I, S., Nugroho, A. 2016. “*Proses Katalitik Pirolisis untuk Cracking Bitumen dari Asbuton dengan Katalis Zeolit Alam*”. Skripsi S1 Teknik Kimia ITS: Surabaya.
- Anderson, J, R., Rajadhyaksha, R, A. 1980. “*Activation of ZSM-5 Catalysts*”. Journal of Catalysis 63, 510-514. University of Melbourne. Australia.
- Chen, Junjie. 2014. “*Homogeneous and Heterogeneous Catalysis: Teachings*”. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Educational and Pedagogical Sciences Vol:8, No:12, 2014
- Departemen Pekerjaan Umum: Direktorat Jenderal Bina Marga. 2006. “*Pemanfaatan Asbuton*”. Pedoman Konstruksi dan bangunan No.001–01/BM/2006.
- Dickerson, T., & Soria, J. 2013. *Catalytic Fast Pyrolysis: A Review*, 514–538.
- Eddy, Herry Radiana. 2016. *Potensi dan Pemanfaatan Zeolit di Provinsi Jawa Barat dan Banten*. Jurnal Kelompok Kerja Mineral, 5.
- Fatimah & Nugraha, J. 2005. “*Identifikasi Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Jati Menggunakan Principal Component Analysis*”. Jurnal ILMU DASAR vol. 6 No. 1: 41-47.
- Goyal, H. B., Seal, D., & Saxena, R. C. Å. 2008. *Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 12:504-517

- Greensfelder, B. S. 1951. *“The Mechanism of Catalytic Cracking”*. Cornell Univ
- Hardono. 1998. *“Preparasi CuO/Zeolit Alam Lampung dengan Impregnasi Menggunakan Larutan CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O serta Karakteristik Untuk Eliminasi Gas Buang Sox”*. Skripsi S1 Teknik Kimia UI: Depok.
- Junaid, A. S. M., Yin, H., Koenig, A., Swenson, P., Chowdhury, J., Burland, G., Kuznicki, S. M. 2009. *Natural zeolite catalyzed cracking-assisted light hydrocarbon extraction of bitumen from Athabasca oilsands*. Applied Catalysis A: General 354, 44–49.
- Lababidi, H. M. S., Sabti, H. M., & Alhumaidan, F. S. 2014. *Changes in asphaltenes during thermal cracking of residual oils*. Fuel, 117, 59–67.
- Lee, S, H., Heo H, S., Jeong, K, E., Yim, J, H., Jeon, J, K., Jung, K, Y., Ko, Y, S. 2011. *“Catalytic Pyrolysis of Oilsand Bitumen over Nanoporous Catalyst”*. Journal of Nanoscience and Nanotechnology. Vol. 11. 759-762.
- Lestari, Dewi Yuanita. 2010. *Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara*. Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia. ISBN:978
- Liu, P., Zhu, M., Zhang, Z., Wan, W., & Yani, S. 2014. *Thermogravimetric Studies of Characteristics and Kinetics of Pyrolysis of Buton Oil Sand*. Energy Procedia, 61, 2741–2744.
- Ma, Y., & Li, S. 2012. *The Pyrolysis, extraction and kinetics of Buton oil sand bitumen*. Fuel Processing Technology, 100, 11–15.
- Majid, A.B., Trisunaryanti, W., Priastomo, Y., Febriyanti, E., Hasyiyati, S., Nugroho, A.. 2012. *“Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalitik Zeolit Alam Indonesia pada Hidrorengkah Ban Bekas dengan Preparasi Sederhana”*. Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 2012, 25.

- Pebruari 2012, Surabaya. Nuryanto, A., 2009. *Aspal Buton Asbuton sebagai Bahan Bakar Roket Padat*. Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol 7, 1, 39 – 45.
- Paris, O., Zollfrank, C., & Zickler, G. A. 2005. *Decomposition and carbonisation of wood biopolymers — a microstructural study of softwood pyrolysis*, 43, 53–66.
- Peng He, W Shan, Y Xiao, H Song. 2016. “*Performance of Zn/ZSM-5 for in situ catalytic upgrading of pyrolysis bio-oil by methane*”. Catalysis 59 (1), 86-93
- Philips C., Haidar N., Poon YC. 2008. *Kinetics Models For the Thermal Cracking of Athabasca Bitumen*. The Effect of the Sand Matrix. Fuel. 87:1585-1590
- Primo, Ana. Hermenegildo Garcia. 2014. “*Zeolites As Catalysts in Oil Refining*”. University of Southern California.
- Rumanto, B. 1989. “*Pemanfaatan Aspal Buton Asbuton Ditinjau dari Aspek Penerapan Konstruksi Jalan raya*”. Majalah Badan Pengkajian dan Terapan Teknologi BPPT, No. XXXII/1989, 121-131.
- Saputra, Rodhie. 2006. “*Pemanfaatan Zeolit Sintetis sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri*”. Yogyakarta
- Selucky, Milan L., Yingli Chu, Tomoki Ruo, Otto P. Strausz. 1977. “*Chemical composition of Athabasca bitumen*”. Fuel Vol. 56, Issue 4
- Setiawan, Arief. 2011. “*Studi Penggunaan Asbuton Butir Terhadap Karakteristik Marshall Asphalt Concrete wearing course asbuton campuran hangat AC-WC-ASB-H*”. Universitas Tadulako. Palu
- Siddiqui, Mohammad, N., 2010. “*Catalytic Pyrolysis of Arab Heavy Residue and Effects on the Chemistry of Asphaltene*”. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 89, 2010, 278-285.
- Susianto, Yosita Dyah Anindita, Ali Altway, Azka Afuza, Eldira Nindri Wena & Ali Altway. 2016. “*Proses Katalitik Pirolisis Untuk Cracking Bitumen Dari Asbuton dengan Katalis Zeolit Alam*”. CINIA 2016

- Troy D. Manning, Ivan P. Parkin, Emily S. Peters and Andrew L. Hector. 2013. “*Formation of a new (1T) trigonal NbS<sub>2</sub> polytype via atmospheric pressure chemical vapour deposition*”. *Journal of Materials Chemistry* 2004, Issue 3
- Tileuberdi, Ye., Zulkhair A. Mansurov, Yerdos Ongarbayev. 2015. “*Structural Study and Upgrading of Kazakhstan Oil Sands*”. *Eurasian Chemico-Technological Journal* 17(2):173.
- Togar, Yan Mulders. 2012. “*Preparasi Katalis Praseodimium Oksida/Zeolit Klipnotilolit Aktif untuk Meningkatkan Bilangan Okatana pada Gasolin*”. Skripsi S1 Teknik Kimia UI: Depok.
- Vamvuka. 2011 *Bio-Oil, Solid and Gaseous Biofuels from Biomass Pyrolysis Process – An Overview*. *International Journal of Energy Research*. 35:835-862
- Wang, Li & Qing, Chunyan. 2011. “*Pyrolysis*”. Beijing
- Widayat & Annisa. 2017. “*Synthesis and Characterization of ZSM-5 Catalyst at Different Temperatures*”. IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. Department of Chemical Engineering Diponegoro University. Semarang  
[www.bps.go.id](http://www.bps.go.id). Diakses pada tanggal 5 Januari 2018 pukul 23.11
- Zhao, Y., & Yu, Y. 2011. *Kinetics of asphaltene thermal cracking and catalytic hydrocracking*. *Fuel Processing Technology*, 92:977–982.
- Zou, C., Zhao, P., Ge, T., Li, D., Ye, H., & Huang, G. 2016. *Environmental Effects Bitumen recovery from Buton oil sands using a surfactant under the effect of ultrasonic waves*. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38:2, 270-276.

## DAFTAR NOTASI

|   |                |      |
|---|----------------|------|
| m | Massa          | Gram |
| V | Volume Larutan | ml   |
| T | Temperatur     | °C   |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# APPENDIKS A

## CARA PERHITUNGAN

### 1. Perhitungan Kadar Bitumen Awal dalam Asbuton

Untuk menentukan kadar bitumen awal pada asbuton dilakukan ekstraksi asbuton selama 12 jam dengan suhu  $\pm 70^{\circ}\text{C}$ , menggunakan rangkaian alat ekstraksi soklet dengan pelarut Trichloroethylene (TCE).

#### **Contoh perhitungan:**

Massa Asbuton awal

Volume TCE ; T (suhu) operasi =  $\pm 400$  ml ;  $\pm 70^{\circ}\text{C}$

Massa kertas saring

Mineral + kertas saring (setelah proses ekstraksi dan di oven)

Mineral kering (setelah diekstrak dan di oven)

Bitumen Terekstrak = Berat Asbuton – Berat Mineral

$$\text{Kadar Bitumen} = \frac{\text{Massa Bitumen Teresktrak}}{\text{Massa Asbuton}} \times 100\% \quad (\text{A-1})$$

Analisa kadar bitumen awal dilakukan sebanyak 3 kali kemudian dirata – rata.

## **2. Perhitungan Penambahan Katalis**

Katalis = 5% dari berat sampel Asbuton

$$\text{Kebutuhan katalis} = 5 \% \times 228 \text{ gram} = 11,4 \text{ gram}$$

## **3. Perhitungan Persen (%) Yield Produk**

Perhitungan persen (%) yield produk tiap produk menggunakan perhitungan neraca massa dengan rumus dibawah ini:

$$\% \text{ Yield produk} = \frac{\text{massa produk}}{\text{massa bitumen dalam asbuton}} \times 100\% \quad (\text{A-2})$$

## **4. Perhitungan Persen (%) Konversi Bitumen**

$$\% \text{ Konversi bitumen} = \frac{\text{massa produk cair}}{\text{massa bitumen dalam asbuton}} \times 100\% \quad (\text{A-3})$$

## APPENDIKS B

### DATA HASIL PERHITUNGAN

**Tabel B.1** Hasil Perhitungan Kadar Bitumen Awal dalam Asbuton

| PERHITUNGAN                              | Notasi | Percobaan-1<br>(gr) | Percobaan-2<br>(gr) | Percobaan-3<br>(gr) |
|--|--------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1. PENENTUAN BERAT ASBUTON KERING        |        |                     |                     |                     |
| Berat asbuton + kertas saring            | b      | 17,4398             | 17,4231             | 16,5282             |
| Berat kertas saring kosong               | a      | 2,4370              | 2,4202              | 1,5227              |
| Berat asbuton                            | c      | 15,0028             | 15,0029             | 15,0055             |
| Berat air                                | d      | 0,2223              | 0,2881              | 0,3147              |
| Berat asbuton kering                     | e      | 14, 7805            | 14,7148             | 14,6908             |
| 2. PENENTUAN BERAT MINERAL DALAM SOKLET  |        |                     |                     |                     |
| Berat mineral + kertas saring            | f      | 14,3783             | 14,3819             | 13,4711             |
| Berat kertas saring kosong               | a      | 2,4370              | 2,4202              | 1,5227              |
| Berat mineral dalam soklet               | g      | 11,9413             | 11,9617             | 11,9484             |
| 3. PENENTUAN BERAT BITUMEN DALAM ASBUTON |        |                     |                     |                     |
| Berat asbuton kering                     | e      | 14, 7805            | 14,7148             | 14,6908             |
| Berat mineral                            | g      | 11,9413             | 11,9617             | 11,9484             |
| Berat bitumen                            | h      | 2,8392              | 2,7531              | 2,7424              |
| 4. PENENTUAN KADAR BITUMEN (%)           | h/e    | 19,21               | 18,71               | 18,67               |
| <b>KADAR BITUMEN RATA-RATA (%)</b>       |        | <b>18,86</b>        |                     |                     |

**Tabel B.2** Hasil Percobaan Pirolisis Bitumen Dalam Asbuton dengan Berat Katalis 0%

|   | Suhu Pirolisis (°C)                                | 350    | 400    | 450    | 500    |
|---|--|--------|--------|--------|--------|
|   | Penambahan Katalis                                 | -      | -      | -      | -      |
| a | Berat asbuton (gram)                               | 228    | 228    | 228    | 228    |
| b | Berat katalis (gram)                               | -      | -      | -      | -      |
| c | Berat feed asbuton + katalis (a+b) (gram)          | 228    | 228    | 228    | 228    |
| d | Berat beaker glass kosong (gram)                   | 150,38 | 150,39 | 150,52 | 150,45 |
| e | Berat beaker glass + sisa padatan + katalis (gram) | 327,82 | 325    | 317,46 | 305,45 |
| f | Berat sisa padatan (e-d-b) (gram)                  | 177,44 | 174,61 | 166,94 | 155    |
| g | Berat labu bunchner kosong (gram)                  | 494,21 | 493,97 | 493,54 | 494    |
| h | Berat labu bunchner + produk (gram)                | 512,42 | 518,93 | 514,09 | 503,04 |
| i | Berat produk cair (h-g) (gram)                     | 18,21  | 24,96  | 20,55  | 9,04   |
| j | Berat produk gas (a-(f+i)) (gram)                  | 32,35  | 28,43  | 40,51  | 63,96  |

**Tabel B.3** Hasil Percobaan Pirolisis Bitumen Dalam Asbuton dengan Berat Katalis 5%

|   | Suhu Pirolisis (°C)                                | 350    | 400    | 450    | 500    |
|---|--|--------|--------|--------|--------|
|   | Penambahan Katalis                                 | 5%     | 5%     | 5%     | 5%     |
| a | Berat asbuton (gram)                               | 228    | 228    | 228    | 228    |
| b | Berat katalis (gram)                               | 11,4   | 11,4   | 11,4   | 11,4   |
| c | Berat feed asbuton + katalis (a+b) (gram)          | 239,4  | 239,4  | 239,4  | 239,4  |
| d | Berat beaker glass kosong (gram)                   | 150,43 | 150,49 | 150,45 | 150,45 |
| e | Berat beaker glass + sisa padatan + katalis (gram) | 342,07 | 336,13 | 333,16 | 318,63 |
| f | Berat sisa padatan (e-d-b) (gram)                  | 180,24 | 174,24 | 171,31 | 156,78 |
| g | Berat labu bunchner kosong (gram)                  | 493,83 | 493,95 | 494,11 | 493,99 |
| h | Berat labu bunchner + produk (gram)                | 519,04 | 512,22 | 510,77 | 517,14 |
| i | Berat produk cair (h-g) (gram)                     | 25,21  | 18,27  | 16,66  | 23,15  |
| j | Berat produk gas (a-(f+i)) (gram)                  | 22,55  | 35,49  | 40,03  | 48,07  |

**Tabel B.4** Hasil Percobaan Pirolisis Bitumen Dalam Asbuton dengan Berat Katalis 7%

|   | Suhu Pirolisis (°C)                                | 350    | 400    | 450    | 500    |
|---|--|--------|--------|--------|--------|
|   | Penambahan Katalis                                 | 7%     | 7%     | 7%     | 7%     |
| a | Berat asbuton (gram)                               | 228    | 228    | 228    | 228    |
| b | Berat katalis (gram)                               | 15,96  | 15,96  | 15,96  | 15,96  |
| c | Berat feed asbuton + katalis (a+b) (gram)          | 243,96 | 243,96 | 243,96 | 243,96 |
| d | Berat beaker glass kosong (gram)                   | 139,43 | 150,44 | 139,43 | 139,47 |
| e | Berat beaker glass + sisa padatan + katalis (gram) | 333,7  | 343,1  | 323,39 | 309,9  |
| f | Berat sisa padatan (e-d-b) (gram)                  | 178,31 | 176,7  | 168    | 154,47 |
| g | Berat labu bunchner kosong (gram)                  | 494,48 | 494,19 | 494,34 | 494,16 |
| h | Berat labu bunchner + produk (gram)                | 502,54 | 512,91 | 501,08 | 501,83 |
| i | Berat produk cair (h-g) (gram)                     | 8,06   | 18,72  | 6,74   | 7,67   |
| j | Berat produk gas (a-(f+i)) (gram)                  | 41,63  | 32,58  | 53,26  | 65,86  |

**Tabel B.5** Hasil Percobaan Pirolisis Bitumen Dalam Asbuton dengan Berat Katalis 9%

|   | Suhu Pirolisis (°C)                                | 350    | 400    | 450    | 500    |
|---|--|--------|--------|--------|--------|
|   | Penambahan Katalis                                 | 9%     | 9%     | 9%     | 9      |
| a | Berat asbuton (gram)                               | 228    | 228    | 228    | 228    |
| b | Berat katalis (gram)                               | 20,52  | 20,52  | 20,52  | 20,52  |
| c | Berat feed asbuton + katalis (a+b) (gram)          | 248,52 | 248,52 | 248,52 | 248,52 |
| d | Berat beaker glass kosong (gram)                   | 139,44 | 139,47 | 139,47 | 139,39 |
| e | Berat beaker glass + sisa padatan + katalis (gram) | 338,71 | 320,87 | 325,44 | 316,71 |
| f | Berat sisa padatan (e-d-b) (gram)                  | 178,75 | 160,88 | 165,45 | 156,8  |
| g | Berat labu bunchner kosong (gram)                  | 493,97 | 494,1  | 493,92 | 495,01 |
| h | Berat labu bunchner + produk (gram)                | 524,1  | 515,26 | 516,45 | 499,78 |
| i | Berat produk cair (h-g) (gram)                     | 30,13  | 21,16  | 22,53  | 4,77   |
| j | Berat produk gas (a-(f+i)) (gram)                  | 19,12  | 45,96  | 40,02  | 66,43  |

**Tabel B.6** Hasil Perhitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Asbuton Tanpa Menggunakan Katalis

| Suhu<br>(°C) | Massa Produk (gram) |       |       | Total<br>Produk<br>(A+B+C)<br>(gram) | Persen (%) Yield                |                        |                       | Total<br>(E+F+G) |
|--------------|---------------------|-------|-------|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|
|              | Padat               | Cair  | Gas   |                                      | Sisa<br>Padat<br>(A/D)*<br>100% | Cair<br>(B/D)*<br>100% | Gas<br>(C/D)*<br>100% |                  |
|              | A                   | B     | C     |                                      | D                               | E                      | F                     |                  |
| 350          | 177,44              | 18,21 | 32,35 | 228                                  | 72,83                           | 7,99                   | 14,18                 | 100%             |
| 400          | 174,61              | 24,96 | 28,43 | 228                                  | 76,58                           | 10,95                  | 12,47                 | 100%             |
| 450          | 166,94              | 20,55 | 40,51 | 228                                  | 73,22                           | 9,01                   | 17,77                 | 100%             |
| 500          | 155,00              | 9,04  | 63,96 | 228                                  | 67,98                           | 3,97                   | 28,05                 | 100%             |

**Tabel B.7** Hasil Perhitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Asbuton dengan Menggunakan Katalis 5%

| Suhu (°C) | Massa Produk (gram) |       |       | Total Produk (A+B+C) (gram) | Persen (%) Yield       |                  |                 | Total (E+F+G) |
|-----------|---------------------|-------|-------|-----------------------------|------------------------|------------------|-----------------|---------------|
|           | Padat               | Cair  | Gas   |                             | Sisa Padat (A/D)* 100% | Cair (B/D)* 100% | Gas (C/D)* 100% |               |
|           | A                   | B     | C     |                             | D                      | E                | F               |               |
| 350       | 180,24              | 25,21 | 22,55 | 228                         | 79,05                  | 11,06            | 9,89            | 100%          |
| 400       | 174,24              | 18,27 | 35,49 | 228                         | 76,42                  | 8,01             | 15,57           | 100%          |
| 450       | 171,31              | 16,66 | 40,03 | 228                         | 75,14                  | 7,31             | 17,55           | 100%          |
| 500       | 156,78              | 23,15 | 48,07 | 228                         | 68,76                  | 10,15            | 21,09           | 100%          |

**Tabel B.8** Hasil Perhitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Asbuton dengan Menggunakan Katalis 7%

| Suhu (°C) | Massa Produk (gram) |       |       | Total Produk (A+B+C) (gram) | Persen (%) Yield       |                  |                 | Total (E+F+G) |
|-----------|---------------------|-------|-------|-----------------------------|------------------------|------------------|-----------------|---------------|
|           | Padat               | Cair  | Gas   |                             | Sisa Padat (A/D)* 100% | Cair (B/D)* 100% | Gas (C/D)* 100% |               |
|           | A                   | B     | C     |                             | D                      | E                | F               |               |
| 350       | 178,31              | 8,06  | 41,63 | 228                         | 78,21                  | 3,54             | 18,25           | 100%          |
| 400       | 176,7               | 18,72 | 32,58 | 228                         | 77,5                   | 8,21             | 14,29           | 100%          |
| 450       | 168                 | 6,74  | 53,26 | 228                         | 73,68                  | 2,96             | 23,36           | 100%          |
| 500       | 154,47              | 7,67  | 65,86 | 228                         | 67,75                  | 3,36             | 28,89           | 100%          |

**Tabel B.9** Hasil Perhitungan Persen (%) Yield Produk Terhadap Massa Asbuton dengan Menggunakan Katalis 9%

| Suhu<br>(°C) | Massa Produk (gram) |       |       | Total<br>Produk<br>(A+B+C)<br>(gram) | Persen (%) Yield                |                        |                       | Total<br>(E+F+G) |
|--------------|---------------------|-------|-------|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|
|              | Padat               | Cair  | Gas   |                                      | Sisa<br>Padat<br>(A/D)*<br>100% | Cair<br>(B/D)*<br>100% | Gas<br>(C/D)*<br>100% |                  |
|              | A                   | B     | C     |                                      | D                               | E                      | F                     |                  |
| 350          | 178,75              | 30,13 | 19,12 | 228                                  | 78,39                           | 13,21                  | 8,4                   | 100%             |
| 400          | 160,88              | 21,16 | 45,96 | 228                                  | 70,56                           | 9,28                   | 20,16                 | 100%             |
| 450          | 165,45              | 22,53 | 40,02 | 228                                  | 72,56                           | 9,88                   | 17,56                 | 100%             |
| 500          | 156,8               | 4,77  | 66,43 | 228                                  | 68,77                           | 2,09                   | 29,14                 | 100%             |

**Tabel B.10** Hasil Perhitungan Persen (%) Produk Cair Terhadap Bitumen dalam Asbuton Tanpa Menggunakan Katalis

|   |   |         |         |         |         |
|---|---|---------|---------|---------|---------|
| No  | Suhu pirolisis (°C)                       | 350     | 400     | 450     | 500     |
|   | Penambahan katalis                        | -       | -       | -       | -       |
| A   | Berat Asbuton (gram)                      | 228     | 228     | 228     | 228     |
| B   | Berat bitumen awal (18,86% * A)<br>(gram) | 43,0008 | 43,0008 | 43,0008 | 43,0008 |
| C   | Berat produk cair (gram)                  | 18,21   | 24,96   | 20,55   | 9,04    |
| Persen (%) Konversi Bitumen ( (C/B)*100%) |   | 42,35%  | 58,05%  | 47,79%  | 21,02%  |

**Tabel B.11** Hasil Perhitungan Persen (%) Produk Cair Terhadap Bitumen dalam Asbuton dengan Berat Katalis 5%

|   |   |         |         |         |         |
|---|---|---------|---------|---------|---------|
| No  | Suhu pirolisis (°C)                       | 350     | 400     | 450     | 500     |
|   | Penambahan katalis                        | 5%      | 5%      | 5%      | 5%      |
| A   | Berat Asbuton (gram)                      | 228     | 228     | 228     | 228     |
| B   | Berat bitumen awal (18,86% * A)<br>(gram) | 43,0008 | 43,0008 | 43,0008 | 43,0008 |
| C   | Berat produk cair (gram)                  | 25,21   | 18,27   | 16,66   | 23,15   |
| Persen (%) Konversi Bitumen ( (C/B)*100%) |   | 58,63%  | 42,49%  | 38,74%  | 53,84%  |

**Tabel B.12** Hasil Perhitungan Persen (%) Produk Cair Terhadap Bitumen dalam Asbuton dengan Berat Katalis 7%

|   |   |         |         |         |         |
|---|---|---------|---------|---------|---------|
| No  | Suhu pirolisis (°C)                       | 350     | 400     | 450     | 500     |
|   | Penambahan katalis                        | 7%      | 7%      | 7%      | 7%      |
| A   | Berat Asbuton (gram)                      | 228     | 228     | 228     | 228     |
| B   | Berat bitumen awal (18,86% * A)<br>(gram) | 43,0008 | 43,0008 | 43,0008 | 43,0008 |
| C   | Berat produk cair (gram)                  | 8,06    | 18,72   | 6,74    | 7,67    |
| Persen (%) Konversi Bitumen ( (C/B)*100%) |   | 18,74%  | 43,53%  | 15,67%  | 17,84%  |

**Tabel B.13** Hasil Perhitungan Persen (%) Produk Cair Terhadap Bitumen dalam Asbuton dengan Berat Katalis 9%

|   |   |         |         |         |         |
|---|---|---------|---------|---------|---------|
| No  | Suhu pirolisis (°C)                       | 350     | 400     | 450     | 500     |
|   | Penambahan katalis                        | 9%      | 9%      | 9%      | 9%      |
| A   | Berat Asbuton (gram)                      | 228     | 228     | 228     | 228     |
| B   | Berat bitumen awal (18,86% * A)<br>(gram) | 43,0008 | 43,0008 | 43,0008 | 43,0008 |
| C   | Berat produk cair (gram)                  | 30,13   | 21,16   | 22,53   | 4,77    |
| Persen (%) Konversi Bitumen ( (C/B)*100%) |   | 70,07%  | 49,21%  | 52,39%  | 11,09%  |

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

## RIWAYAT PENULIS



**Aldy Hanif Wibisono**, penulis lahir di Malang pada tanggal 10 Juli 1997. Penulis adalah mahasiswa S1 Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang memiliki minat pada perpindahan panas dan massa serta proses pemisahan. Penulis yang pada tahun terakhir aktif di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa ini memiliki hobi membaca, diskusi. Pengalaman yang pernah dienyam penulis di dunia Teknik Kimia yaitu kerja praktik di PT Asahimas Chemical Cilegon. Penulis juga memiliki semangat tinggi untuk melakukan riset. Riset yang pernah dilakukannya, yakni “**Proses Pirolisis Katalitik untuk *Cracking* Bitumen dari Asbuton Menjadi Bahan Bakar Cair dengan Katalis Zeolit ZSM-5**” yang dapat dilaksanakan dengan baik berkat bimbingan dari dosen-dosen Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Teknik Kimia ITS. Untuk kepentingan korespondensi penulis dapat dihubungi pada alamat email [aldyhanifw@gmail.com](mailto:aldyhanifw@gmail.com).

## RIWAYAT PENULIS



**Redina Ayu Nur Qarnaini Putri**, lahir pada tanggal 14 Maret 1996 di Kediri. Penulis merupakan mahasiswa S1 Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis memiliki antusiasme yang tinggi untuk mengembangkan diri di bidang proses pemisahan serta perpindahan panas dan massa. Penulis juga menimba pengalaman melalui Kerja Praktik di Chandra Asri Petrochemical. Penulis yang menaruh minat lebih pada pengajaran dan penelitian ini memilih Laboratorium

Perpindahan Panas dan Massa untuk melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “**Proses Pirolisis Katalitik untuk *Cracking* Bitumen dari Asbuton Menjadi Bahan Bakar Cair dengan Katalis Zeolit ZSM-5**”. yang dapat dilaksanakan dengan baik berkat bimbingan dari dosen-dosen Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Teknik Kimia ITS. Untuk kepentingan korespondensi penulis dapat dihubungi pada alamat email [\*redinaayu@gmail.com\*](mailto:redinaayu@gmail.com).