.

**TUGAS AKHIR − TL184834**

***REVIEW* PENGARUH KONSENTRASI DAN SIFAT PERMUKAAN DIKORELASIKAN DENGAN RASIO SI/AL KATALISSILIKA-ALUMINA DALAM *CRACKING* SAMPAH PLASTIK *POLYPROPYLENE* UNTUK PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR**

**ALIF HAFIZH PRAKOSO**

**NRP. 02511740000066**

**Dosen Pembimbing**

**Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.**

**Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.**

**Departemen Teknik Material Dan Metalurgi**

**Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2021**



**TUGAS AKHIR − TL 184834**

***REVIEW* PENGARUH KONSENTRASI DAN SIFAT PERMUKAAN DIKORELASIKAN DENGAN RASIO SI/AL KATALISSILIKA-ALUMINA DALAM *CRACKING* SAMPAH PLASTIK *POLYPROPYLENE* UNTUK PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR**

ALIF HAFIZH PRAKOSO

NRP. 02511740000066

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.

Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.

Departemen Teknik Material Dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2021

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)



**FINAL PROJECT − TL 184834**

**REVIEW : THE INFLUENCE OF CONCENTRATION AND SURFACE PROPERTIES CORRELATED WITH SI/AL RATIO OF SILICA-ALUMINA CATALYST IN POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE CRACKING FOR LIQUID FUEL PRODUCTION**

ALIF HAFIZH PRAKOSO

NRP. 02511740000066

Supervisors

Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.

Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.

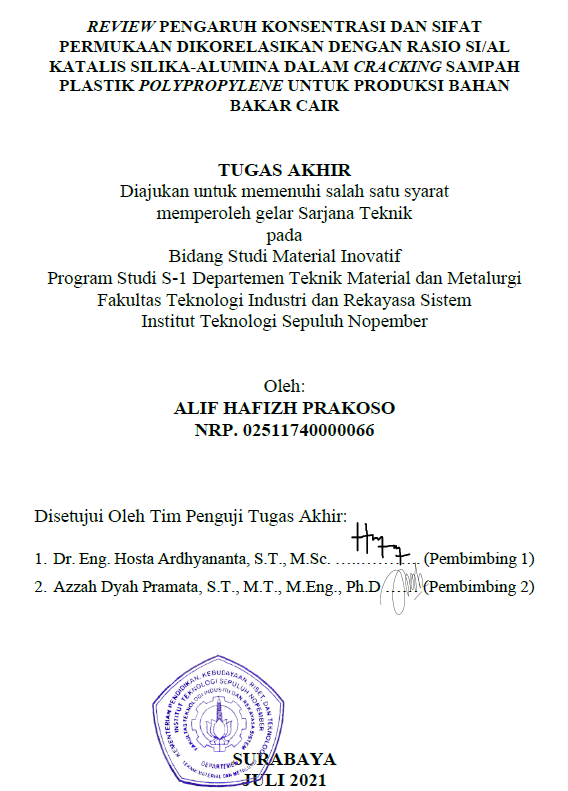
Materials And Metallurgical Engineering Department

Faculty Of Industrial Technology And System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2021

(*This page is intentionally left blank*)



(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

***REVIEW* PENGARUH KONSENTRASI DAN SIFAT PERMUKAAN DIKORELASIKAN DENGAN RASIO SI/AL KATALISSILIKA-ALUMINA DALAM *CRACKING* SAMPAH PLASTIK *POLYPROPYLENE* UNTUK PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR**

**Nama : Alif Hafizh Prakoso**

**NRP : 02511740000066**

**Departemen : Teknik Material dan Metalurgi**

**Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.**

**Dosen Pembimbing 2 : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.**

# ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi dan sifat permukaan yang dikorelasikan dengan rasio Si/Al katalis silika-alumina dalam cracking sampah plastik polypropylene untuk produksi bahan bakar cair. Penelitian ini menggunakan komparasi beberapa telaah jurnal dengan metode literature review berdasarkan penelitian eksperimental yang selanjutnya didesain menjadi penelitian cross-sectional. Dari penelitian ini, ditemukan bahwa konsentrasi dan sifat permukaan katalis pada cracking sangatlah penting. Konsentrasi yang sedikit (berdasarkan nilai modus dan rata-rata optimum sebesar 10% wt dan 6,42% wt) dan sifat permukaan berupa area permukaan dan ukuran pori yang bernilai tinggi dirasa efektif (berdasarkan nilai rata-rata optimum sebesar 394 m2g-1 dan 0,94 cm3g-1). Jika dikorelasikan dengan rasio Si/Al, konsentrasi yang sedikit mampu menghasilkan jumlah relatif Si/Al yang sedang (35/65) untuk produksi liquid yang efektif. Terkait dengan sifat permukaan, semakin tinggi rasio Si/Alpada katalis maka akan meningkatkan luas area permukaan dari katalis sehingga dapat meningkatkan produksi bahan bakar cair.*

**Kata Kunci :** *Katalis Silika-Alumina, Konsentrasi, Polypropylene, Rasio Si/Al, Sifat Permukaan*

**REVIEW : THE INFLUENCE OF CONCENTRATION AND SURFACE PROPERTIES CORRELATED WITH SI/AL RATIO OF SILICA-ALUMINA CATALYST IN POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE CRACKING FOR LIQUID FUEL PRODUCTION**

**Student Name : Alif Hafizh Prakoso**

**NRP : 02511740000066**

**Department : Material and Metallurgical Engineering**

**Advisor 1 : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.**

**Advisor 2 : Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.**

# ABSTRACT

*This study aims to analyze the influence of concentration and surface properties correlated with the Si/Al ratio of silica-alumina catalysts in polypropylene plastic waste cracking for liquid fuel production. This study uses comparatives of several journal studies with literature review method based on experimental research which then designed to be cross-sectional research. From this study, it was found that the concentration and properties of catalyst surfaces in cracking are very important. Low concentrations (based on mode values and optimum averages are 10% wt and 6.42% wt) and surface properties of high-value surface areas and pore sizes are considered effective (based on optimum average value is 394 m2g-1 and 0.94 cm3g-1). When correlated with the Si/Al ratio, a small concentration is able to produce a relatively moderate amount of Si/Al (35/65) for effective liquid production. Related to surface properties, the higher the Si/Al ratio of catalysts will increase the surface area of the catalyst which will increase the production of liquid fuel.*

**Keywords :** *Concentration, Polypropylene, Si/Al Ratio, Silica-Alumina Catalyst, Surface Properties*

# KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.Selama proses pengerjaan, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada berbagai pihak yang telah banyak membantu serta memberi dukungan kepada penulis, diantaranya adalah:

1. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing serta memberi ilmu dasar dan spesifik terkait topik tugas akhir kepada penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir.
2. Ibu Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 2 yang juga banyak membimbing serta memberi wawasan kepada penulis terkait dengan penelitian jenis *review*, serta memberi panduan terkait konten dan sistematika tugas akhir *literature review* ini.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
4. Bapak Agus Suwandi dan kakak perempuan saya Fryda Hanum Sofia yang selalu mendukung dan memfasilitasi pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Penulis juga menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Surabaya, 25 Juli 2021

Penulis

Alif Hafizh Prakoso

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

# DAFTAR ISI

[ABSTRAK vi](#_Toc78811995)

[ABSTRACT vii](#_Toc78811996)

[KATA PENGANTAR viii](#_Toc78811997)

[DAFTAR ISI x](#_Toc78811998)

[DAFTAR GAMBAR xii](#_Toc78811999)

[DAFTAR TABEL xvi](#_Toc78812000)

[BAB I PENDAHULUAN 1](#_Toc78812001)

[1.1 Latar Belakang 1](#_Toc78812002)

[1.2 Rumusan Masalah 2](#_Toc78812003)

[1.3 Batasan Masalah 2](#_Toc78812004)

[1.4 Tujuan *Literature* *Review* 2](#_Toc78812005)

[1.5 Manfaat *Literature* *Review* 3](#_Toc78812006)

[BAB II TINJAUAN PUSTAKA UMUM 5](#_Toc78812007)

[2.1 Sampah Plastik 5](#_Toc78812008)

[2.2 Polypropylene 5](#_Toc78812009)

[2.3 *Cracking* 7](#_Toc78812010)

[2.3.1 *Thermal Cracking* 7](#_Toc78812011)

[2.3.2 *Catalytic Cracking* 8](#_Toc78812012)

[2.4 Bahan Bakar 11](#_Toc78812013)

[2.5 Katalis Silika-Alumina 11](#_Toc78812014)

[2.5.1 *Waste Brick Kiln Dust* 12](#_Toc78812015)

[2.5.2 HZSM-5 13](#_Toc78812016)

[2.5.3 USY 14](#_Toc78812017)

[2.5.4 SBA-15 15](#_Toc78812018)

[2.5.5 *Cogon Grass* 17](#_Toc78812019)

[BAB III METODE PENELITIAN *REVIEW* 19](#_Toc78812020)

[3.1 Jenis dan Desain Penelitian 19](#_Toc78812021)

[3.2 Sumber Penelitian 19](#_Toc78812022)

[3.3 Jenis dan Kriteria Data 19](#_Toc78812023)

[3.4 Pengolahan Data 20](#_Toc78812024)

[3.5 Skor dan Indeks Data 22](#_Toc78812025)

[3.6 Daftar Data 22](#_Toc78812026)

[3.7 Ruang Lingkup Penelitian 25](#_Toc78812027)

[BAB IV PEMBAHASAN KONSENTRASI KATALIS DAN RASIO SI/AL 27](#_Toc78812028)

[4.1 Tinjauan Pustaka Khusus 27](#_Toc78812029)

[4.1.1 Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Distribusi *Yield* 27](#_Toc78812030)

[4.1.2 Pengaruh Rasio Si/Al Terhadap Distribusi *Yield* 45](#_Toc78812031)

[4.2 Pembahasan 45](#_Toc78812032)

[BAB V PEMBAHASAN SIFAT PERMUKAAN KATALIS 53](#_Toc78812033)

[5.1 Tinjauan Pustaka Khusus 53](#_Toc78812034)

[5.1.1 Pengaruh Sifat Permukaan Katalis Terhadap Distribusi *Yield* 53](#_Toc78812035)

[5.2 Pembahasan 64](#_Toc78812036)

[BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 67](#_Toc78812037)

[6.1 Kesimpulan 67](#_Toc78812038)

[6.2 Saran 67](#_Toc78812039)

[DAFTAR PUSTAKA xxi](#_Toc78812040)

[UCAPAN TERIMA KASIH xxiii](#_Toc78812041)

[BIODATA PENULIS xxv](#_Toc78812042)

# DAFTAR GAMBAR

[**Gambar 2.1** Beberapa mekanisme dalam *catalytic cracking*.[1] 10](#_Toc78812043)

[**Gambar 2.2** Mikrografi SEM katalis *plain* dan *impregnated* : (a) WBKD *plain* dan (b) WBKD-Fe2O3.[1] 13](#_Toc78812044)

[**Gambar 2.3** Mikrografi SEM dengan pembesaran 5000x : (a) SBA-15; (b) Al-SBA-15(30).[5] 16](#_Toc78812045)

[**Gambar 2.4** Mikrografi SEM katalis Al-Si sintetis dari *cogon grass* : (a) Al–Si/20–80;(b) Al–Si/40–60.[6] 17](#_Toc78812046)

[**Gambar 3.1** Diagram alir *preferred reporting items for systemic review and meta-analysis* (PRISMA) 20](#_Toc78812047)

[**Gambar 3.2** Diagram alir proses pencarian literatur. 21](#_Toc78812048)

[**Gambar 4.1** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan katalis *plain*-WBKD dalam fungsi konsentrasi pada temperatur 300oC selama 30 menit.[1] 28](#_Toc78812049)

[**Gambar 4.2** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan katalis Fe2O3-WBKDdalam fungsi konsentrasi pada temperatur 300oC selama 30 menit.[1] 29](#_Toc78812050)

[**Gambar 4.3** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP dan polietilena (1:1) menggunakkan modifikasi katalis HZSM-5 dan USY dengan konsentrasi 5% wt pada temperatur 450oC selama 30 menit.[2] 31](#_Toc78812051)

[**Gambar 4.4** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan katalis USY dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur rerata 475oC dengan waktu tahan rerata 62,5 menit.[3][4] 33](#_Toc78812052)

[**Gambar 4.5** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan modifikasi katalis SBA-15 dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5] 35](#_Toc78812053)

[**Gambar 4.6** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* campuran PP menggunakkan katalis sintetis Al-Si dari *cogon grass* dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6] 37](#_Toc78812054)

[**Gambar 4.7** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis dengan konsentrasi *average* 5,7% wt pada temperatur *average* 391oC dengan waktu tahan *average* 36,5 menit. 41](#_Toc78812055)

[**Gambar 4.8** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakan modifikasi katalis Al-SBA-15 10% wt dengan rasio Si/Al yang bervariasi pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5] 46](#_Toc78812056)

[**Gambar 4.9** Distribusi *yield* (%) dari cracking campuran PP menggunakan katalis sintetis Al-Si cogon grass 10% wt dengan rasio Si/Al yang bervariasi pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6] 46](#_Toc78812057)

[**Gambar 4.10** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis 10% wt dengan rasio Si/Al *average* 50/50 pada temperatur *average* 365oC selama 30 menit. 49](#_Toc78812058)

[**Gambar 5.1** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan modifikasi katalis HZSM-5 dan USY dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur 380oC selama 30 menit.[2] 54](#_Toc78812059)

[**Gambar 5.2** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan variasi katalis SBA-15 dengan BET *surface area* yang berbeda pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5] 56](#_Toc78812060)

[**Gambar 5.3** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* campuran PP menggunakkan katalis sintetis Al-Si dari *cogon grass* dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6] 58](#_Toc78812061)

[**Gambar 5.4** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis dengan BET *surface area*dan volume pori *average* sebesar 383,75 m2g-1 dan 0,58 cm3g-1pada temperatur *average* 370oC selama30 menit. 62](#_Toc78812062)

[**Gambar 5.5** Area permukaan dari silika amorf: (a) Al–Si/20–80 dan Al–Si/40–60; (b) Al–Si/60–40; (c) Al-Si/80-20.[6] 64](#_Toc78812063)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# DAFTAR TABEL

[**Tabel 2.1** Sifat *polypropylene*.[7] 6](#_Toc78812064)

[**Tabel 2.2** Komposisi unsur bahan baku dianalisis menggunakkan *Thermo Electron Flash EA1112*.[3] 7](#_Toc78812065)

[**Tabel 2.3** Sifat permukaan *waste brick kiln dust* polos dan yang diimpregnasi dengan Fe2O3.[1] 13](#_Toc78812066)

[**Tabel 2.4** Sifat tekstural dari beberapa zeolit yang diteliti oleh Almeida *et. al*. (2018).[2] 14](#_Toc78812067)

[**Tabel 2.5** Sifat tekstural dan asam dari zeolit USY.[3][4] 15](#_Toc78812068)

[**Tabel 2.6** Sifat fisika kimia dari katalis SBA-15.[5] 16](#_Toc78812069)

[**Tabel 2.6** Komposisi kimia, area permukaan BET, dan volume mikro-pori sintetis katalis Al-Si dari *cogon grass*.[6] 17](#_Toc78812070)

[**Tabel 3.1** Daftar jurnal terindeks Scopus dan Scimago Journal Rank. 22](#_Toc78812073)

[**Tabel 3.2** Daftar data yang termasuk *include*. 23](#_Toc78812074)

[**Tabel 3.3** Ruang lingkup penelitian. 25](#_Toc78812075)

[**Tabel 4.1** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan katalis *plain-*WBKD dalam fungsi konsentrasi pada temperatur 300oC selama 30 menit.[1] 28](#_Toc78812078)

[**Tabel 4.2** Distribusi *yield (%)* dari *cracking* PP menggunakkan katalis Fe2O3-WBKD dalam fungsi konsentrasi pada temperatur 300oC selama 30 menit.[1] 29](#_Toc78812079)

[**Tabel 4.3** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP dan polietilena (1:1) menggunakkan modifikasi katalis HZSM-5 dan USY dengan konsentrasi 5% wt pada temperatur 450oC selama 30 menit.[2] 31](#_Toc78812080)

[**Tabel 4.4** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan katalis USY dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur rerata 475oC dengan waktu tahan rerata 62,5 menit.[3][4] 33](#_Toc78812081)

[**Tabel 4.5** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakan modifikasi katalis Al-SBA-15 dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5] 34](#_Toc78812082)

[**Tabel 4.6** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* campuran PP menggunakan katalis sintetis Al-Si dari *cogon grass* dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6] 36](#_Toc78812083)

[**Tabel 4.7** Kompilasi distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis dengan konsentrasi yang bervariasi pada temperatur *average* 391oC dan waktu tahan *average* 36,5 menit. 39](#_Toc78812084)

[**Tabel 4.8** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakan modifikasi katalis Al-SBA-15 10% wt dengan rasio Si/Al yang bervariasi pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5] 45](#_Toc78812085)

[**Tabel 4.9** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* campuran PP menggunakan katalis sintetis Al-Si *cogon grass* 10% wtdengan rasio Si/Al yang bervariasi pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6] 45](#_Toc78812086)

[**Tabel 4.10** Kompilasi distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis 10% wt dengan rasio Si/Al yang bervariasi pada temperatur *average* 365oC selama 30 menit*.* 48](#_Toc78812087)

[**Tabel 5.1** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan modifikasi katalis HZSM-5 dan USY dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur 380oC selama 30 menit.[2] 54](#_Toc78812088)

[**Tabel 5.2** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan modifikasi katalis SBA-15 dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5] 56](#_Toc78812089)

[**Tabel 5.3** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* campuran PP menggunakkan katalis sintetis Al-Si dari *cogon grass* dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6] 57](#_Toc78812090)

[**Tabel 5.4** Kompilasi distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur *average* 370oCselama30 menit*.* 60](#_Toc78812091)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB I PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Istilah plastik digunakan untuk menggambarkan polimer yang ditambahkan dengan zat aditif untuk membantu proses manufaktur dan/atau untuk memberikan properti dan aplikasi tertentu.[1] Material ini memberikan kontribusi mendasar bagi masyarakat karena fleksibilitas dan biayanya yang relatif rendah. Akibatnya, jumlah sampah plastik yang dihasilkan terus meningkat.[2] Padahal, plastik tidak dapat terurai secara *biodegradable*, sehingga pembakaran dan *landfilling* dapat berkontribusi pada masalah kesehatan. Setengah dari keseluruhan produksi plastik terdiri dari poliolefin yaitu polietilena kepadatan tinggi dan/atau rendah (HDPE/LDPE) dan polipropilena (PP).[3]

Oleh karena itu, *cracking* telah menjadi salah satu teknologi yang menjanjikan untuk menghasilkan bahan bakar hidrokarbon dan untuk mengatasi masalah lingkungan akibat sampah plastik.[3] *Thermal cracking dan catalytic cracking* adalah dua jenis proses untuk mengolah limbah plastik. Kehadiran katalis dalam pirolisis mengurangi suhu reaksi, waktu tahan dan konsumsi energi.[4]

Pirolisis sampah plastik telah diselidiki oleh banyak peneliti yang menemukan bahwa *wax* dan gas adalah produk utama dalam *thermal cracking*. Sehingga, untuk mengatasi berbagai masalah dari *thermal cracking*, penggunaan berbagai katalis telah diapilikasikan dalam *catalytic cracking* limbah polimer. Katalis yang paling umum digunakan tersebut yaitu asam padat silika-alumina.[4]

Tujuan khusus dari *literature review* ini yaitu untuk mempelajari lebih lanjut terkait katalis yang nantinya diapilikasikan untuk pengembangan riset pada bidang energi dan lingkungan untuk mengatasi beberapa masalah seperti *yield liquid* yang rendah pada *cracking* sampah plastik yang sampai saat ini masih terus dikembangkan di Laboratorium lnovasi Material Departemen Teknik Material FTIRS-ITS.

## Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam *literature review* ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi dikorelasikan dengan rasio Si/Al katalis silika-alumina dalam *cracking* sampah plastik *polypropylene* untuk produksi bahan bakar cair?
2. Bagaimana pengaruh sifat permukaan dikorelasikan dengan rasio Si/Al katalis silika-alumina dalam *cracking* sampah plastik *polypropylene* untuk produksi bahan bakar cair?

## Batasan Masalah

Batasan masalah dalam *literature review* ini adalah :

1. Katalis yang dibahas hanya terbatas pada katalis golongan silika-alumina contohnya seperti katalis golongan zeolit dan katalis sintetis dari beberapa literatur.
2. Karakterisasi material katalis dan produk bahan bakar tidak menjadi fokus dalam *literature review* ini.
3. Proses pengolahan limbah plastik yang disinggung hanya sampai pada tahap *cracking*/pirolisis, khususnya hingga diperoleh distribusi *yield*.
4. Tidak menyinggung *post-treatment* dari *cracking* seperti proses distilasi yang merupakan lanjutan dari proses *cracking*.
5. Komposisi produk dari bahan bakar tidak menjadi fokus dalam *literature review* ini.
6. Sifat permukaan yang dibahas pada *literature review* ini hanya terbatas pada area permukaan dan volume pori.

## Tujuan *Literature* *Review*

Tujuan dari penulisan *literature review* ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh konsentrasi dikorelasikan dengan rasio Si/Al katalis silika-alumina dalam *cracking* sampah plastik *polypropylene* untuk produksi bahan bakar cair.
2. Menganalisis pengaruh sifat permukaan dikorelasikan dengan rasio Si/Alkatalis silika-alumina dalam *cracking* sampah plastik *polypropylene* untuk produksi bahan bakar cair.

## Manfaat *Literature* *Review*

Manfaat dari penulisan *literature review* ini yaitu:

1. Sebagai referensi terkait pengaruh konsentrasi katalis silika-alumina dalam *cracking* sampah plastik *polypropylene* untuk produksi bahan bakar cair.
2. Sebagai referensi terkait pengaruh rasio Si/Al katalis silika-alumina dalam *cracking* sampah plastik *polypropylene* untuk produksi bahan bakar cair.
3. Sebagai referensi terkait pengaruh sifat permukaan katalis silika-alumina dalam *cracking* sampah plastik *polypropylene* untuk produksi bahan bakar cair.
4. Sebagai referensi untuk penelitian baru maupun apilikasi langsung terkait dengan pemilihan katalis dalam proses *catalytic cracking* sehingga dapat memaksimalkan hasil produksi bahan bakar cair.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB II TINJAUAN PUSTAKA UMUM

## Sampah Plastik

Istilah plastik digunakan untuk menggambarkan polimer yang ditambahkan dengan zat aditif untuk membantu proses manufaktur dan/atau untuk memberikan properti dan aplikasi tertentu. Menjadi bahan rekayasa yang murah, plastik sering digunakan untuk keperluan rumah tangga, industri dan komersial yang telah menyebabkan peningkatan fenomenal dalam produksi global hingga mencapai jutaan ton. Plastik limbah memiliki bahan kimia berbahaya seperti monomer sisa, oligomer, dan pelarut polimerisasi, serta berbagai aditif plastik lainnya. Bahan kimia ini dapat lepas ketika plastik dibuang di tempat pembuangan sampah. Sebagian besar bahan kimia bermigrasi dari plastik ke udara, air atau media kontak lainnya yang dapat menyebabkan efek pada kesehatan dan lingkungan makhluk hidup.[1]

Sampah plastik dihasilkan akibat dari tingkat konsumsi bahan plastik di dunia yang terus meningkat. Pada tahun 2018 di Eropa, sampah plastik menyumbang hingga 25,8 juta ton *municipal solid waste*. Lalu, berdasarkan fakta, pada tahun 2014 di Eropa, hanya 29% sampah plastik yang terkumpul yang didaur ulang, sementara 40% dibakar dan 31% dibuang di tempat pembuangan sampah akhir atau *landfill*. Setengah dari keseluruhan produksi plastik terdiri dari poliolefin yaitu polietilena kepadatan tinggi (HDPE), polietilena kepadatan rendah (LDPE) dan polipropilena (PP).[3]

## Polypropylene

*Polypropylene* (PP) yang merupakan polimer termoplastik yang telah hadir di setiap bidang kehidupan kita yang diapilikasikan dalam peralatan rumah tangga, furnitur, *automobile*, produk pengemasan, tekstil dan alat tulis. Namun, meningkatnya penggunaan PP secara bersamaan juga menyebabkan masalah kenaikan tingkat limbah PP yang sudah menjadi masalah lingkungan yang serius. Oleh karena itu, daur ulang limbah PP diperlukan untuk mengurangi masalah pembuangannya. Daur ulang plastik biasanya diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu secara proses fisik dan kimia. Dalam proses daur ulang kimia sampah plastik di-*crack* pada suhu tinggi.[5]

**Tabel 2.1** Sifat *polypropylene*.[7]

|  |  |
| --- | --- |
| [Polypropylene](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Polypropylen.svg) | |
|  | |
| **Names** | |
| [**IUPAC name**](https://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_nomenclature)  Poly(1-methylethylene) | |
| **Other names**  Polypropylene;Polypropene; Propylene polymers; 1-Propene; [-Ch2-Ch(Ch3)-]n | |
| **Properties** | |
| [**Chemical Formula**](https://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_formula) | (C3H6)n |
| [**Density**](https://en.wikipedia.org/wiki/Density) | 0.855 g/cm3, amorphous  0.946 g/cm3, crystalline |
| [**Melting Point**](https://en.wikipedia.org/wiki/Melting_point) | 130 to 171°C (266 to 340°F; 403 to 444 K) |

**Tabel 2.2** Komposisi unsur bahan baku dianalisis menggunakkan *Thermo Electron Flash EA1112*.[3]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Raw Material | Elemental Compositions | |
| %C | %H |
| PP | 86,44 | 14.46 |

PP secara komersial terbuat dari bahan baku yang berasal dari minyak mentah dan gas hasil dari *cracking* nafta. Seperti jenis plastik yang lain, ketika PP dibuang sembarangan akan menyebabkan polusi di media darat maupun air karena PP terdiri dari hidrogen dan karbon, jika PP tidak dimanfaatkan dan dibiarkan menjadi limbah, akan menyebabkan kerugian sumber daya energi.[1]

## *Cracking*

Dalam daur ulang kimia, degradasi kimia pada plastik mengarah ke produksi bahan bakar cair dan senyawa kimia lain dengan nilai tambah tinggi dari fragmen plastik sisa. Salah satu metode daur ulang tersier adalah pirolisis. Proses ini dapat berupa proses termal atau *catalytic* dan merupakan salah satu alternatif yang menjanjikan yang dapat mengkonversi polimer bernilai rendah menjadi gas dan cairan hidrokarbon.[2]

*Thermal cracking dan catalytic cracking* adalah dua jenis proses untuk mengolah limbah plastik.[4] Ada empat langkah utama dalam *cracking* yaitu inisiasi, transfer, dekomposisi, dan penghentian.[6] Kehadiran katalis dalam pirolisis mengurangi suhu reaksi, waktu tahan dan konsumsi energi, meningkatkan reaksi dekomposisi, selektivitas dan kualitas produk.[4]

### *Thermal Cracking*

*Thermal cracking* telah diselidiki dan pada umumnya terjadi pada suhu operasi yang tinggi, biasanya lebih dari 300oC dan bahkan bisa sampai 900oC.[5][6] *Thermal cracking* hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek membutuhkan suhu mulaidari 300oC hingga 600oC untuk memperoleh minyak cair sebagai energi dan *char* serta gas sebagai produk tambahan yang juga mempunyai nilai.[6] Oleh karena itu, penambahan katalis yang cocok sangat menarik untuk mengurangi suhu reaksi *cracking* yang tinggi.[5]

Sebagaimana diketahui, *thermal cracking* poliolefin menyebabkan pemecahan ikatan C-C melalui mekanisme radikal untuk menghasilkan fragmen molekul yang berat. Namun, *catalytic cracking* polyolefin lebih dikenal karena dimulai dengan mekanisme ion karbenium. Ion karbenium dibentuk melalui abstraksi ion hidrida oleh situs asam Lewis atau protonasi ikatan ganda olefin yang terdegradasi oleh situs asam Brönsted.[3]

Pirolisis termal membutuhkan suhu yang tinggi, yang biasanya menghasilkan produk dengan kualitas akhir yang rendah sehingga membuat proses ini tidak teratur. Hal ini disebabkan karena degradasi termal yang tidak menggunakan katalis menimbulkan kenaikan pada substansi dengan molar massa yang rendah, yang akhirnya membutuhkan proses pemisahan lebih lanjut untuk menghasilkan produk baru.[2]

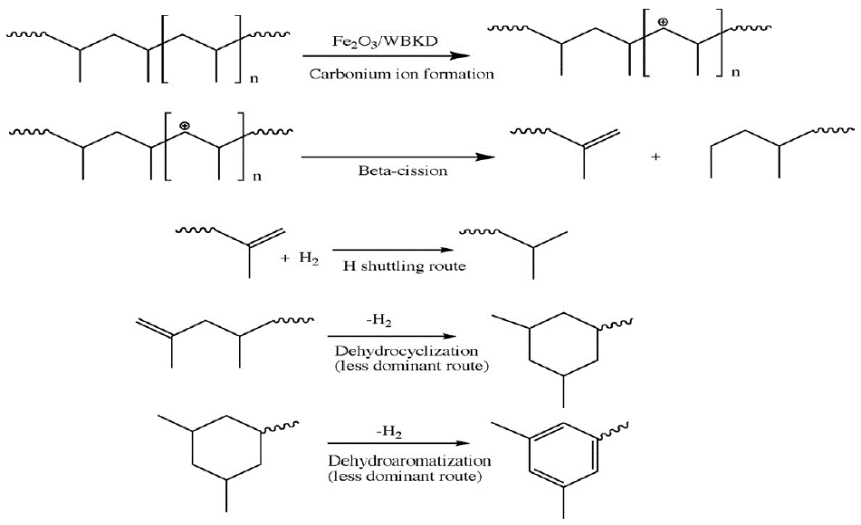
Lerici *et. al.*mempelajari degradasi termal dari polietilena, polipropilena(PP) dan polyestyrene (PS) menggunakan zeolite H-Y dalam *batch*reaktor pada suhu 500°C. Mereka melaporkan bahwa *thermal cracking* polyolefinmenghasilkan lilin yang dominan.Mekanisme degradasi termal polipropilena dimulai melalui pemotongan rantai secara acak dengan pembentukan radikal sekunder dan tersier melalui reaksi penataan ulang (*backbiting*) dan menyebar melalui radikal β-*scission*.[4]

### *Catalytic Cracking*

Metode *thermal cracking* dapat ditingkatkan dengan penambahan katalis, yang akan mengurangi suhu dan waktu reaksi dan memungkinkan produksi hidrokarbon yang bernilai tinggi lebih banyak seperti bahan bakar minyak dan petrokimia. Sifat fisik dan kimia dari katalis akan menentukan efisiensi *cracking*.[2]

*Catalytic cracking* telah banyak digunakan karena beberapa keuntungan jika dibandingkan dengan *thermal cracking* karena lebih efisien terkait penggunaan reaktor, suhu reaksi, dan waktu tahan. Namun, *catalytic cracking* juga memiliki beberapa kelemahan, seperti sulitnya proses pemulihan katalis setelah digunakan sehingga meningkatkan biaya operasi. Lalu, kontak langsung katalis dengan residu plastil dapat menonaktifkan katalis dengan cepat karena pengendapan materi dan *poisoning* oleh unsur lain seperti klorin, belerang, dan nitrogen yang terkandung dalam beberapa aditif yang mungkin ada dalam residu plastik.[2]

Untuk menjelaskan produk yang diamati dari *catalytic cracking* pada PP, dua mekanisme karbokasi telah disarankan. Pertama yaitu mekanisme bimolekuler klasik atau β-*cracking* dan kedua yaitu mekanisme monomolekuler, melalui ion karbonium.*Catalytic cracking* PP dimulai dengan pembentukan radikal bebas bersamadengan rantai polimer, yang mengakibatkan kerusakan ikatan C-C. Kemudian dilanjutkan dengan mekanisme ion karbenium yang dimulai oleh abstraksi ion hidrida oleh asam Lewis dari rantai oligomer, atau serangan satu situs asam Brønsted ke ikatan ganda molekul PP yang terdegradasi secara termal dan dilanjutkan dengan mekanisme isomerisasi, β-gunting, dan transfer hydrogenuntuk membentuk fragmen yang lebih kecil.[4]



**Gambar 2.1** Beberapa mekanisme dalam *catalytic cracking*.[1]

*Catalytic cracking* menunjukkan pembentukan residu inert yang sedikit lebih tinggi daripada opsi daur ulang mekanis, tetapi volumenya jauh lebih rendah daripada *thermal cracking* dan proses oksidatif lainnya (pembakaran, gasifikasi ke metanol, gasifikasi ke *syngas*, gasifikasi dikombinasikan dengan pembakaran). Tidak seperti proses gasifikasi, *catalytic cracking* menghasilkan *char*, bukan *slag* yang seperti kaca, yang menunjukkan bahaya yang lebih tinggi pada prosesnya. Namun demikian, *catalytic cracking* lebih unggul daripada proses pemulihan bahan baku yang lain seperti termal *cracking* terkait dengan kebutuhan energi kumulatif (hampir sama hemat seperti proses daur ulang secara mekanik) dan peringkat menengah sebagai potensi penyumbang pemanasan global, dengan emisi CO2 yang lebih rendah daripada yang dicapai oleh proses lain.[2]

## Bahan Bakar

Penggunaan sampah plastik sebagai bahan bakar dalam berbagai aplikasi termal termasuk ko-pirolisis telah dilaporkan.[1] Dalam daur ulang kimia, degradasi kimia menyebabkan produksi bahan bakar cair dan senyawa kimia dengan penambahan nilai yang tinggi dari fragmen plastik sisa. Salah satu metode daur ulang tersier tersebut adalah pirolisis. Proses ini dapat menjadi termal atau *catalytic* dan merupakan solusi alternatif yang memungkinkan konversi polimer bernilai rendah menjadi gas dan cairan hidrokarbon.[2]

## Katalis Silika-Alumina

Sifat-sifat penting katalis, termasuk diantaranya yaitu area permukaan, keasaman, ukuran pori, dan volume pori yang merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi *cracking*.[6] Kemampuan *cracking* dari katalis terkait dengan sifat keasaman dan ukuran pori yang mewakili karakteristik utamanya. Katalis yang keasamannya kuat dapat meningkatkan kemampuan *cracking* pada hidrokarbon yang lebih berat daripada umumnya menjadi hidrokarbon yang lebih ringan atau gas jika dibandingkan dengan katalis dengan keasaman yang lebih lemah.[4]

Katalis menghadirkan sejumlah keuntungan seperti[3][6] :

* Mengurangi temperatur reaksi sehingga mengurangi energi aktivasi untuk memutus ikatan C–C.
* Mengurangi waktu tinggal plastik di reaktor.
* Meningkatkan selektivitas cairan dengan menghasilkan molekul yang beratnya lebih rendah dalam kisaran bensin.
* Meningkatkan laju pirolisis.

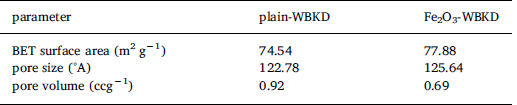
Silika-alumina merupakan salah satu jenis katalis yang paling banyak digunakan, merupakan sebuah katalis asam berupa amorf yang terdiri dari situs asam Bronsted dengan atom hidrogen dan situs asam Lewis sebagai akseptor elektron. Katalis jenis ini bisa meningkatkan produksi bahan bakar cair.[6]

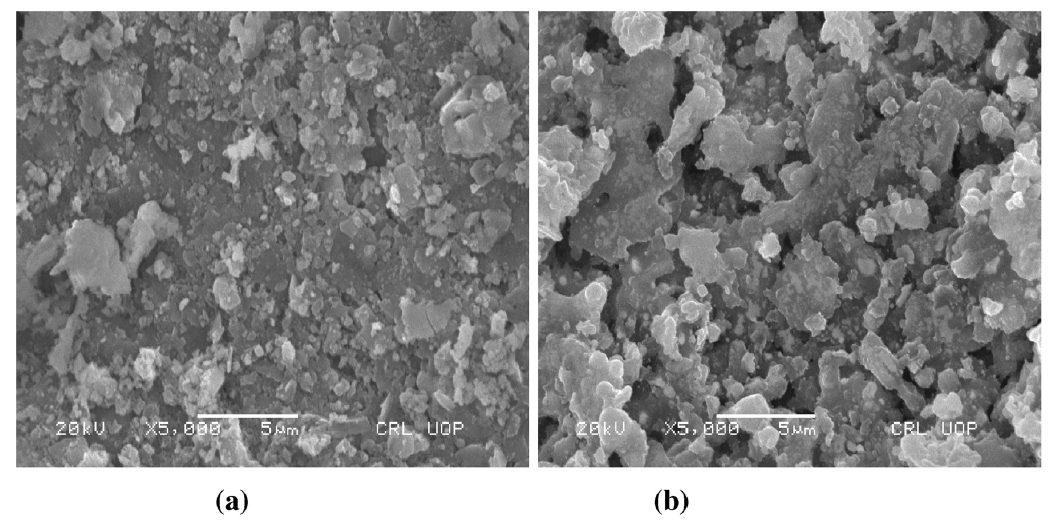
Pada subbab ini, akan dibahas beberapa contoh jenis katalis yang mengandung silika-alumina yang digunakan dalam *literature review* ini. Perbedaan aktivitas katalis padatan ini terutama terkait dengan situs asam mereka, termasuk dari kekuatan dan kuantitasnya. Properti tekstural seperti properti area permukaan dan volume pori juga mempengaruhi kinerja proses *catalytic* karena karakteristik ini mengontrol aksesibilitas molekul poliolefin besar ke situs internal aktif dari padatan katalis.[2]

### *Waste Brick Kiln Dust*

Bahan limbah debu kiln bata digunakan sebagai katalis dalam studi saat ini karena sifat rekayasanya yang unggul termasuk kekuatan kompresif dan tarik yang tinggi serta kandungan alumina dan silika yang tinggi. Alumina dan silika yang terkandung pada katalis telah dilaporkan sebagai komponen yang menjanjikan dalam konversi polipropilena agar hasil produk lebih bernilai tinggi. Impregnasi dengan oksida lain seperti Fe2O3 dapat memberikan dorongan pada stabilitas dan sifat asam yang diperlukan untuk kinerja *cracking* yang lebih baik.[1]

**Tabel 2.3** Sifat permukaan *waste brick kiln dust* polos dan yang diimpregnasi dengan Fe2O3.[1]





**Gambar 2.2** Mikrografi SEM katalis *plain* dan *impregnated* : (a) WBKD *plain* dan (b) WBKD-Fe2O3.[1]

### HZSM-5

Zeolite induk yang diselidiki dalam eksperimen pirolisis oleh Almeida *et. al.* (2018)[2] adalah zeolite HZSM-5 (*zeolite socony mobil-5* bentuk H+) dalam bentuk asam yang diberi berbagai macam perlakuan seperti *alkaline-treated* (B+zeolit)dan *acid-leached* (L+zeolite). Dibandingkan dengan pirolisis termal, BHZSM-5 (*alkaline-treated)* zeolit menunjukkan kinerja katalitik yang terbaik terhadap produksi produk cair, tanpa pembentukan fraksi padat (char).

ZSM-5 memiliki struktur MFI. ZSM-5 adalah zeolite pori sedang, yang memiliki struktur *porous* yang dibentuk oleh *straight channel* 10-MR (5,6×5,3 Å) yang saling terhubung oleh saluran sinusoidal 10-MR (5,5×5,1 Å). Struktur Ini tidak memiliki rongga tetapi interkoneksi antar saluran memiliki diameter bebas sekitar 9 Å. Zeolite ini stabil secara termal dan kimia dan memiliki situs asam kuat yang penting bagi *cracking*.[2]

**Tabel 2.4** Sifat tekstural dari beberapa zeolit yang diteliti oleh Almeida *et. al*. (2018).[2]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Catalyst | BET Surface  Area (m2g-1) | Pore Volume  (cm3g-1) |
|  |
| HZSM-5 | 369 | 0,11 |  |
| BHZSM-5 | 410 | 1,16 |  |
| LHZSM-5 | 692 | 0,7 |  |
| USY | 503 | 0,05 |  |
| BUSY | 580 | 0,1 |  |

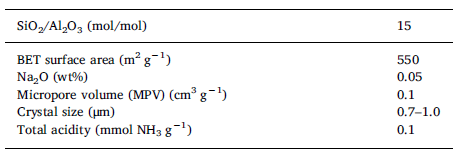
### USY

USY memiliki struktur FAU. Di sisi lain, USY memiliki pori besar dimana struktur kerangka tiga dimensinya dibentuk oleh *sodalite cages* yang terhubung oleh prisma heksagonal dalam pengaturan tetrahedral dan membentuk *supercavities* (diameter ≈ 11 Å) yang saling terhubung oleh 12-MR *apertures* 7.1 Å. USY zeolit (bentuk ultra-stabil dari zeolite Y)memiliki situs asam dengan kekuatan lemah-menengah, yang kurang efektifdalam *cracking* daripada asam kuat. Namun, kehadiran *supercavities* dengan bukaan 7.1 Å mendukung aksesibilitasmolekul plastik ke situs asam yang terletak di dalam struktur pori.[2]

Sejumlah peneliti telah menyelidiki penggunaan zeolit USY (*ultra stable Y-zeolite)* di degradasi *catalytic* polietilena dan polipropilena. Mereka melaporkan bahwa zeolit USY yang berpori besar menghasilkan fraksi cair dengan jumlah tertinggi dibandingkan dengan katalis teruji lainnya seperti ZSM-5 yang lebih cenderung mengkonversi produksi gas. Selain itu, hidrokarbon yang terbentuk menggunakkan zeolit USY lebih berat daripada produk yang dibentuk dengan zeolit berpori sedang dan produk utama yang dihasilkan yaitu alkana dengan alkena dan aromatik yang lebih sedikit.[4] Selain USY, berdasarkan penelitian Almeida, D. *et. al*[2] terdapat juga USY yang diberi perlakuan *alkaline-treated dan acid-leached* yang nantinya secara berturut-turut disebut dengan BUSY dan LUSY yang juga menghasilkan fraksi cair dalam jumlah tinggi dan kandungan padat (*char)* yang rendah.[2]

Kerugian utama menggunakan katalis zeolit yaitu terjadinya pembentukan kokas yang disebabkan oleh deposit dari produk yang berat pada permukaan katalis. Pembentukan kokas terjadi selama reaksi kataliptik dan menyebabkan penonaktifan katalis yang akhirnya mempengaruhi distribusi produk dan selektivitas.[4]

**Tabel 2.5** Sifat tekstural dan asam dari zeolit USY.[3][4]

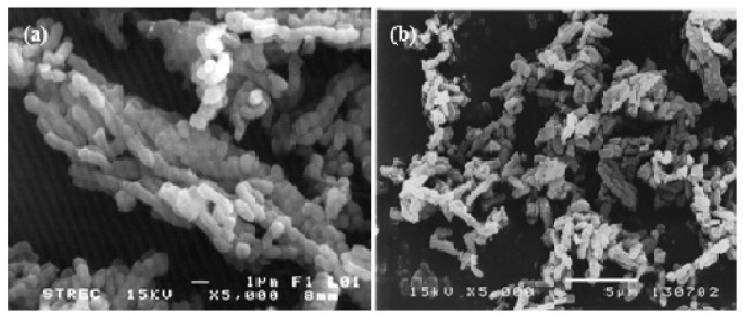


### SBA-15

SBA-15 (*santa barbara amorphous-15*) yang bersifat mesopori banyak digunakan sebagai katalis dalam beberapa reaksi kimia. Bahan ini memiliki area permukaan yang luas dan ukuran pori antara 20 dan 300 Å dengan diameter pori besar. Namun, SBA-15 berbentuk silika murni memiliki tingkat keasaman yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan mikropori seperti zeolit. Oleh karena itu, peningkatan tingkat keasaman dari bahan mesoporous telah dikembangkan salah satunya dengan penambahan ion aluminium ke dalam *framework*. Degradasi PP menggunakan aluminium yang dimuat dalam SBA-15 menyebabkan molekul yang lebih berat dapat terdegradasi agar dapat dihasilkan hidrokarbon yang lebih ringan dari C14.[5]

**Tabel 2.6** Sifat fisika kimia dari katalis SBA-15.[5]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Porous materials (SiO2/Al2O3 mole ratio) | Total specific surface area (m2g-1) | External surface area (m2g-1) | Pore distribution (nm) | Pore volume (cm3g-1) |
| SBA-15 | 685 | 81 | 8.1 | 0.94 |
| Na-Al-SBA-15 (60) | 555 | 119 | 8.1 | 0.92 |
| Na-Al-SBA-15 (30) | 431 | 69 | 8.1 | 0.92 |
| H-Al-SBA-15 (60) | 571 | 51 | 8.1 | 0.92 |
| H-Al-SBA-15 (30) | 441 | 98 | 8.1 | 0.92 |

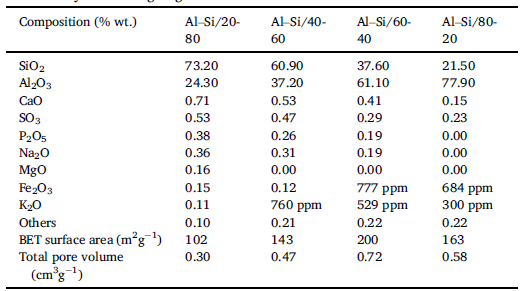


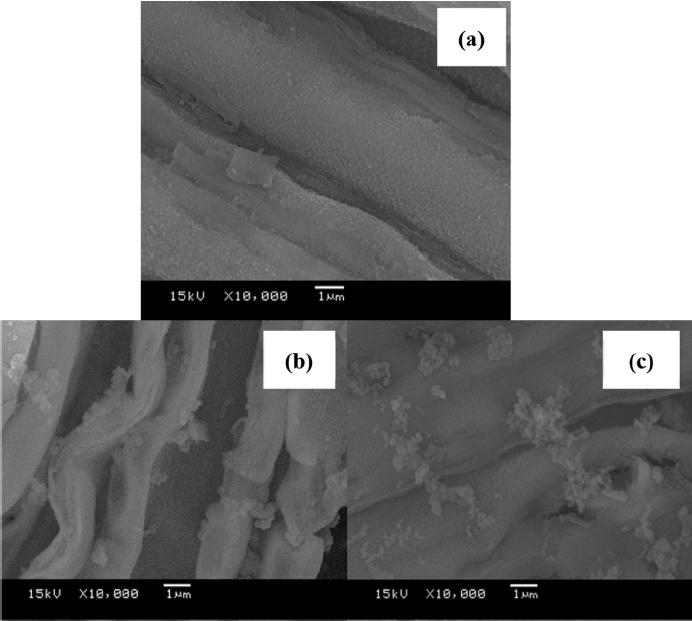
**Gambar 2.3** Mikrografi SEM dengan pembesaran 5000x : (a) SBA-15; (b) Al-SBA-15(30).[5]

### *Cogon Grass*

*Cogon grass* (*Imperata cylindrica*) atau yang biasa dikenal dengan alang-alang adalah salah satu guli paling invasif di dunia, umumnya ditemukan di Thailand dan Asia Tenggara. Tanaman ini telah direkomendasikan sebagai sumber silika. Bunmai *et. al.* menunjukkan bahwa mengolah *glassy blade* dan batang dari alang-alang dengan asam klorida dan mengkalsinasikannya pada 500oC selama 4 jam dapat menghasilkan silika dengan kemurnian tinggi, sementara Thongrut dan Kueansombat menemukan bahwa kalsinasi alang-alang pada 600oC dapat menghasilkan silika dengan hasil tertinggi yaitu sekitar 65,55%. Oleh karena itu, penelitian pada alang-alang ini digunakan untuk memproduksi katalis Al-Si untuk proses pirolisis.[6]

**Tabel 2.7** Komposisi kimia, area permukaan BET, dan volume mikro-pori sintetis katalis Al-Si dari *cogon grass*.[6]





(a)

(b)

**Gambar 2.4** Mikrografi SEM katalis Al-Si sintetis dari *cogon grass* : (a) Al–Si/20–80;(b) Al–Si/40–60.[6]

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB III METODE PENELITIAN *REVIEW*

## Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan komparasi beberapa telaah jurnal dengan metode *literature review* berdasarkan beberapa penelitian yang bersifat analisis eksperimental yang nantinya didesain menjadi penelitian *cross-sectional*. *Literature* *review* ini dianalisis secara analitik, deskriptif dan naratif dari kurva-kurva dan tabel hasil eksperimen beberapa jurnal.

## Sumber Penelitian

Sumber penelitian berasal dari literatur yang diperoleh dari publikasi jurnal hasil penelitian di beberapa negara. Referensi diakses dari penerbit jurnal yang bereputasi, *reliable*, dan terakreditasi. Adapun jurnal yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Science Direct atau penerbit jurnal internasional lainnya di kelas yang sebanding. Semua literatur yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jurnal yang terindeks Scopus dan Scimago.

## Jenis dan Kriteria Data

Adapun jenis data yang digunakan pada *literature* *review* ini yaitu data primer berupa jurnal. Berikut adalah kriteria inklusi data yang digunakan :

1. Penelitian yang meneliti pengaruh *cracking* menggunakkan katalis silika-alumina terhadap *yield* bahan bakar.
2. Penelitian pada tahun 2015-2021.
3. Penelitian yang menggunakkan katalis silika-alumina.
4. Penelitian yang berdasarkan indeks Scopus dan Scimago tergolong dalam Q1.
5. Penelitian yang menggunakan *feed* berupa *polypropylene* atau campuran *polypropylene* dengan sampah jenis lain.
6. Penelitian yang hasil produksi bahan bakar cair atau *yield* *liquidnya-*nya mempunyai *average* 50-100% wt.

## Pengolahan Data

Data yang telah terkumpul dikelola menggunakan *preferred reporting items for systemic review and meta-analysis* (PRISMA). Seluruh jurnal yang terkumpul dilakukan *identification, screening, eligibility*, dan *include* untuk menginklusi dan mengeksklusi artikel yang didapatkan sesuai dengan Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.

*Identification*

Jurnal yang diidentifikasi

(n > 200)

Proses seleksi jurnal

(n > 200)

Dokumen memenuhi syarat inklusi (n = 6)

Dokumen memenuhi syarat inklusi (n = )

Artikel disimpan untuk selanjutnya dianalisis

(n = 6)

n = jumlah literatur/jurnal

*Screening*

*Eligibility*

Dokumen tidak memenuhi syarat inklusi (n ≥ 194)

*Include*

**Gambar 3.1** Diagram alir *preferred reporting items for systemic review and meta-analysis* (PRISMA)

**Pencarian Literatur**

Pencarian artikel berdasarkan kata kunci ***catalyst*, *cracking*, *polypropylene.***

Hasil pencarian : ScienceDirect (n = 6.596)

Data primer disaring berdasarkan judul, abstrak, dan kriteria inklusi

Hasil pencarian yang tidak diproses

(n = 6590 )

Hasil pencarian yang tidak diproses

(n = 38.052)

Hasil pencarian yang diproses kembali

(n = 6 )

Hasil pencarian yang diproses kembali

(n = 34)

Data primer dianalisis

n = jumlah literatur/jurnal

**Gambar 3.2** Diagram alir proses pencarian literatur.

## Skor dan Indeks Data

Data primer yang sudah diperoleh diindeks menggunakan bantuan Scopus dan Scimago yang selanjutnya ditabulasikan pada Tabel 3.1.

‘

**Tabel 3.1** Daftar jurnal terindeks Scopus dan Scimago Journal Rank.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nama Jurnal (Jumlah)** | **Q** | **CS** | **SJR** | **SNIP** | **H-Index** |
| Fuel (2) | Q1 | 9.1 | 1.797 | 2.138 | 199 |
| Heliyon (1) | Q1 | 1.2 | 0.432 | 0.763 | 18 |
| Journal of Analytical & Applied Pyrolysis (3) | Q1 | 6.8 | 1.151 | 1.293 | 124 |

Keterangan :

1. Q = *Quartil* adalah *rank* jurnal yang dibagi menjadi 4 kuartil.
2. CS = *CiteScore* adalah kutipan rata-rata yang diterima per dokumen yang diterbitkan dalam serial.
3. SJR = Indikator *SCImago* *Journal Rank* adalah ukuran dampak jurnal, pengaruh atau prestise.
4. SNIP = *Source Normalized Impact per Paper* mengukur kutipan yang diterima terhadap kutipan yang diharapkan untuk bidang subjek serial.
5. H-index = Jumlah artikel jurnal (h) yang telah menerima setidaknya h kutipan sejak jurnal diterbitkan.

## Daftar Data

Data primer yang sudah termasuk dalam *include* terlampir pada Tabel 3.2 dan dikelompokkan sebagai berikut :

**Tabel 3.2** Daftar data yang termasuk *include*.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Author | Tahun | Nama Jurnal, Volume, Angka | Judul | Katalis, *Feed* | Database |
| 1. | Ahmad *et. al.* | 2017[1] | *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.*127, *pg.* 247-256 | *Influence of Waste Brick Kiln Dust on Pyrolytic Conversion of Polypropylene Into Potential Automotive Fuels*. | Sisa-sisa pembakara batu bata pada dinding *rotary kiln, Pellet* PP | Science Direct |
| 2. | Almeida *et. al.* | 2018[2] | *Fuel, Vol 215, pg. 515-521.* | *Petrochemical Feedstock From Pyrolysis Of Waste Polyethylene And Polypropylene Using Different Catalysts.* | Modifikasi HZSM-5; USY, MSW PE/PP | Science Direct |
| 3. | Kassargy *et. al.* | 2018[3] | *Fuel, 224, pg.764-773* | *Gasoline And Diesel-Like Fuel Production By Continuous Catalytic Pyrolysis Of Waste Polyethylene And Polypropylene Mixtures Over USY Zeolite*. | USY zeolit, MSW PE/PP | Science Direct |
| 4. | Kassargy *et. al.* | 2017[4] | *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 127, pg 31-37*. | *Experimental Study Of Catalytic Pyrolysis Of Polyethylene And Polypropylene Over USY Zeolite And Separation To Gasoline And Diesel-Like Fuels* | USY Zeolite, MSW PP | Science Direct |
| 5. | Jiraroj *et. al.* | 2016[5] | *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 120:529-539* | *Catalytic Cracking of Polypropylene Using Aluminosilicate Catalysts* | Na-Al-SBA-15, H-Al-SBA-15, gelas plastik PP | Science Direct |
| 6. | Sangpatch*et. al.* | 2019[6] | *Heliyon, Vol 5, Issue 8* | *Fuel Oil Generated from The Cogon Grass-Derived Al–Si (Imperata Cylindrica (L.) Beauv) Catalysed Pyrolysis of Waste Plastics* | Ekstrak alang-alang (*cogon grass* Al-Si), MSW campuran PP | Science Direct |

## Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian dari *literature review* ini ditabulasikan dalam tabel seperti berikut :

**Tabel 3.3** Ruang lingkup penelitian.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Penulis, Tahun** | **Konsentrasi Katalis** | **Rasio Si/Al** | **Sifat Permukaan Katalis** |
| Ahmad *et. al.*, 2017[1] | P |  |  |
| Almeida *et. al.*, 2018[2] | P |  | P |
| Kassargy *et. al.*, 2018[3] | P |  |  |
| Kassargy *et. al.*, 2017[4] | P |  |  |
| Jiraroj *et. al.*, 2016[5] | P | P | P |
| Sangpatch *et. al.*, 2019[6] | P | P | P |

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB IV PEMBAHASAN KONSENTRASI KATALIS DAN RASIO SI/AL

## Tinjauan Pustaka Khusus

Pada subbab ini, akan dibahas terkait tinjauan pustaka khusus dari literatur yang mengerucut ke topik konsentrasi katalis dan rasio Si/Al. Data berupa tabel, grafik dan gambar ataupun pembahasan yang bersifat deksriptif dan naratif dari literatur sudah diolah sedemikan rupa sehingga disajikan seperti berikut :

### Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Distribusi *Yield*

Konsentrasi katalis sangat mempengaruhi hasil cairan dan gas pada proses *cracking*. *Cracking* polypropylene dengan berbagai variasi katalis dan konsentrasi telah menjadi minat peneliti dalam beberapa tahun terakhir. Meskipun katalis yang digunakan hingga saat ini sudah melakukan kerjanya dengan baik. Namun tetapi, distribusi hasil produk *cracking* masih menunjukkan hasil yang berubah-ubah.[1]

Salah satu faktor yang memengaruhi hasil distribusi tersebut yaitu konsentrasi yang pastinya berkaitan dengan keasaman. Sifat keasaman ini merupakan salah satu kunci dalam proses *cracking* karena dengan nilai keasaman atau konsentrasi yang berbeda juga bisa menyebabkan distribusi *yield* yang bervariasi pula.[1-6] Berikut adalah hasil ekstraksi dari literatur yang sudah dianalisis.

**Tabel 4.1** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan katalis *plain-*WBKD dalam fungsi konsentrasi pada temperatur 300oC selama 30 menit.[1]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Catalyst Conc. (% wt) | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) |
| 0 | 69,82 | 28,84 | 1,34 |
| 0,5 | 70,27 | 20,21 | 9,52 |
| 1 | 75,68 | 17,65 | 6,67 |
| 2,5 | 66,35 | 21,85 | 11,81 |
| 5 | 64,66 | 23,73 | 11,61 |
| 10 | 56,3 | 29,45 | 14,25 |

**Gambar 4.1** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan katalis *plain*-WBKD dalam fungsi konsentrasi pada temperatur 300oC selama 30 menit.[1]

**Tabel 4.2** Distribusi *yield (%)* dari *cracking* PP menggunakkan katalis Fe2O3-WBKD dalam fungsi konsentrasi pada temperatur 300oC selama 30 menit.[1]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Catalyst Conc. (% wt) | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) |
| 0 | 69,82 | 28,84 | 1,34 |
| 0,5 | 89,22 | 9,95 | 0,83 |
| 1 | 91,01 | 8,8 | 0,1 |
| 2,5 | 96,7 | 3,03 | 0,26 |
| 5 | 78,02 | 18,01 | 3,97 |
| 10 | 73,53 | 19,61 | 6,68 |

**Gambar 4.2** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan katalis Fe2O3-WBKDdalam fungsi konsentrasi pada temperatur 300oC selama 30 menit.[1]

Hasil eksperimen yang dilakukan pada katalis *waste brick kiln dust* yang *plain* dan yang diimpregnasi dengan Fe2O3 dalam fungsi konsentrasi ditampilkan dalam Tabel 4.1 dan 4.2 dengan hasil *yield* *liquid* optimal sebesar 75,68% wt dan 96,7% wt menggunakkan katalis *plain-*WBKDdan Fe2O3-WBKD dengan konsentrasi katalis sebesar 1% dan 2,5% wt. Hasil *yield* cukup signifikan dibandingkan dengan hasil *liquid yield* dari *thermal cracking* sebesar 69,82% wt. Hasil *yield* yang tinggi dari Fe2O3-WBKD dapat mungkin dikaitkan dengan fakta bahwa WBKD yang diresapi Fe2O3 telah meningkatkan stabilitas dan keasaman dari WBKD.

PP berbentuk *pellet*. *waste brick kiln dust* dikumpulkan dari tempat pembakaran batu bata. FeCl3 (99%) digunakan sebagai prekursor untuk Fe2O3 tanpa purifikasi lanjutan. Untuk proses impregnasinya, FeCl3 (99%) dilarutkan dalam 50 mL air sulingan. Pada larutan, jumlah unit WBKD ditambahkan. Konten diaduk selama 30 menit dan dikeringkan dalam *fan driven oven* pada 100°C sampai kering sempurna. Konten *dried* tersebut selanjutnya dipanaskan dalam oven vakum pada 90°C selama 24 jam kemudian dikalsinasi pada 550°C selama 4 jam dalam *muffle furnace*. Lalu, konten tadi didinginkan dalam desikator dan disimpan untuk penggunaan lebih lanjut.

Efek katalis pada hasil *char*/residu juga dipelajari. Hasil dari sekitar 1,34 wt% tanpa katalis turun secara signifikan hingga 0,2 wt% pada katalis Fe2O3-WBKD di rasio katalis 2,5% wt. Sehingga, konsentrasi katalis yang paling optimum untuk memperoleh *yield liquid* terbaik dari dua jenis katalis ini yaitu 1% wt pada katalis *plain-*WBKD dan 2,5% wt pada Fe­2O3-WBKD.[1]

**Tabel 4.3** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP dan polietilena (1:1) menggunakkan modifikasi katalis HZSM-5 dan USY dengan konsentrasi 5% wt pada temperatur 450oC selama 30 menit.[2]

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | Catalyst Conc. (% wt) | Liquid (% wt) | | Gas (% wt) | | | Solid (% wt) |
| HZSM-5 | 5 | | 17 | | 45 | 38 | |
| BHZSM-5 | 5 | | 88 | | 11,7 | 0,3 | |
| LHZSM-5 | 5 | | 46 | | 1 | 54 | |
| USY | 5 | | 70 | | 26 | 4 | |
| LUSY | 5 | | 70 | | 15 | 15 | |
| BUSY | 5 | | 66 | | 29 | 5 | |

**Gambar 4.3** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP dan polietilena (1:1) menggunakkan modifikasi katalis HZSM-5 dan USY dengan konsentrasi 5% wt pada temperatur 450oC selama 30 menit.[2]

Katalis yang diselidiki dalam Tabel 4.3 adalah penelitian dari Almeida *et. al.* (2018)[2]dengan katalis HZSM-5 (*Zeolite Socony Mobil-5* bentuk H+) dan USY (*Ultra Stable Y-zeolite*) dengan perlakuan *alkaline* (BHZSM-5 dan BUSY) atau *acid-leached* (LHZSM-5 dan LUSY).

Dua jenis sampah plastik kota yang terdiri dari pasca-konsumsi polietilena (PE) dan *polypropylene* (PP). Sampah diperoleh dari perusahaan daur ulang dalam bentuk serpihan dan dicuci tiga kali dengan etanol dan dikeringkan semalaman.

Untuk perawatan alkali, zeolit ditangguhkan dalam 0,2 mol/L larutan NaOH menggunakan rasio zeolite (g)/NaOH (mL) sama dengan 0,008, pada 75°C, selama 30 menit. Setelah itu, katalis dipisahkan oleh filtrasi dan dicuci dengan air *deionisasi* sampai pH netral. Kemudian dikeringkan pada 200°C, selama 1 jam. Sampel yang diberi perlakuan alkali diubah menjadi bentuk asam (H) oleh pertukaran ion dengan larutan 2 mol/L NH4Cl. Kemudian, zeolit itu dipisahkan oleh filtrasi, dicuci dengan air deionisasi dan dikalsinasi dalam tungku *muffle* pada 450°C selama 4,5 jam. Sampel diberi nama B+zeolit, dimana B berarti perlakuan alkali.

Perawatan *leaching* dilakukan dalam dua langkah. Pada langkah pertama, zeolit ditangguhkan dalam larutan 1 mol/L NH4Cl menggunakan rasio zeolit(g)/larutan (mL) 0,04, pada 80°C, selama 24 jam. Pada akhir perawatan, padatan dipisahkan oleh sentrifugasi, dicuci dengan air suling dan dikeringkan selama 20 jam pada suhu 110°C. Katalis kemudian dipanaskan di tungku *muffle* pada 500°C, selama 4 jam. Pada langkah kedua, zeolit di-*reflux* dengan larutan HCl 1 mol/L selama 5 jam. Katalis kemudian dipisahkan oleh sentrifugasi, dicuci dengan air suling sampai pH netral dan dikeringkan pada suhu 110°C, selama 20 jam. Sampel diberi nama L+zeolit, di mana L berarti perlakuan *acid leached*.

BHZSM-5 5% wt menunjukkan aktivitas *catalytic* yang terbaik untuk produksi produk cair dengan *yield liquid* sebesar 88% wt, tanpa pembentukan fraksi padat (char). Selain itu, USY dan BUSY juga menghasilkan fraksi cair dalam jumlah tinggi (70% wt) dan kandungan padat yang rendah.[2]

**Tabel 4.4** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan katalis USY dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur rerata 475oC dengan waktu tahan rerata 62,5 menit.[3][4]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | Catalyst Conc. (% wt) | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) |
| USY[3] | 10 | 80 | 18 | 2 |
| USY[4] | 0 | 85,5 | 14,5 | 0 |
|  | 10 | 82 | 16,8 | 1,2 |

**Gambar 4.4** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan katalis USY dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur rerata 475oC dengan waktu tahan rerata 62,5 menit.[3][4]

Seperti yang dapat dilihat, penggunaan zeolite USY dalam pirolisis katalitik PP pada penelitian Kassargy *et. al.* (2018/2017)[3][4] menghasilkan proporsi fraksi cair yang tinggi. Hasil dari penelitian ini menggunaan katalis konsentrasi 10% karena pada *thermal cracking,* meskipun *liquid yield* lebih tinggi, akan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh hasil tersebut yaitu sekitar 80 menit. Sedangkan untuk *catalytic cracking* waktu yang dibutuhkan yaitu 45 menit.

Sampel PP dikumpulkan dari pengumpulan sampah kota. Bahan baku dicuci, dikeringkan dan dihancurkan menjadi potongan-potongan kecil (< 6 mm) untuk mendapatkan campuran homogen. Katalis yang digunakan untuk eksperimen pirolisis adalah USY zeolit. Katalis dikeringkan dalam oven untuk menghilangkan kelembaban dan kemudian disaring untuk memiliki ukuran partikel antara 200 dan 800 μm.

Produk utama yang diperoleh dari pirolisis non katalis PP berdasarkan Tabel 4.4 yaitu 85,5% *liquid yield,* 14,5 wt% gas dan tidak ada endapan kokas yang diamati. Dalam *catalytic cracking*, ultra-stabil zeolit Y (USY) digunakan dengan konsentrasi 10% wt dan menghasilkan produk *liquid* dan gassebesar 80% dan 18% wt[3]; 82 wt% dan 16,8% wt[4] serta jumlah kokas yang kecil juga muncul.[3][4]

**Tabel 4.5** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakan modifikasi katalis Al-SBA-15 dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | Catalyst Conc. (% wt) | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | | Solid (% wt) |
| Thermal Cracking | 0 | 11,2 | 15,3 | 73,5 | |
| Na-Al-SBA-15 (30) | 10 | 62,4 | 30,2 | 7,4 | |
| H-Al-SBA-15 (30) | 10 | 73 | 24 | 3 | |
| H-Al-SBA-15 (60) | 10 | 68 | 29,4 | 2,6 | |

**Gambar 4.5** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan modifikasi katalis SBA-15 dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5]

Limbah PP diperoleh dari gelas air minum. Semua sampel limbah dibersihkan dan dipotong kecil berukuran 0,5 × 0,5 cm. SBA-15 (*Santa Barbara Amorphous-15*) disintesis melalui perlakuan hidrotermal. Efek impregnasi alumina SBA-15 (Na-Al-SBA-15) dipelajari oleh impregnasi pasca-sintesis menggunakan rasio SiO2/Al2O3 30/70 dan 60/40 untuk memperoleh Na-Al-SBA-15(30) dan Na-Al-SBA-15(60). Prosedur umumnya yaitu, 0,5 g SBA-15 diaduk dalam larutan natrium aluminat 50 mL (NaAlO2) pada suhu kamar selama 12 jam, di mana larutan NaAlO2 mengandung 0,046 g atau 0,023 g NaAlO2. Setelah itu, katalis disaring, dicuci dengan air *deionisasi* dan dikeringkan pada 70oC semalaman untuk mendapatkan katalis Na-Al-SBA-15 dengan rasio yang berbeda. Selain itu, pertukaran ion Na+ dengan H+ untuk katalis sintesis dilakukan menggunakan amonium klorida dan katalis yang dihasilkan ditandai oleh perubahan nama awalan dari Na menjadi H (H-Al-SBA-15(30), H-Al-SBA-15(60).

Katalis yang paling optimum untuk memperoleh *yield* cair yang tinggi yaitu H-Al-SBA-15 dengan konsentrasi 10% wt yang memproduksi *yield liquid,* gas, *solid* sebesar 73% wt, 24% wt, dan 3% wt. Katalis ini menunjukkan kinerja yang tinggi dengan tingkat konversi PP lebih dari 80% dan hanya sejumlah kecil residu.[5]

**Tabel 4.6** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* campuran PP menggunakan katalis sintetis Al-Si dari *cogon grass* dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | Catalyst Conc. (% wt) | Liquid (% wt) | | Gas (% wt) | Solid (% wt) |
| Thermal | 0 | 84,66 | 0,41 | | 14,93 |
| Cogon Grass Al-Si/20-80 | 10 | 86,67 | 0,65 | | 12,46 |
| Cogon Grass Al-Si/40-60 | 10 | 88,89 | 1,42 | | 10,67 |
| Cogon Grass Al-Si/60-40 | 10 | 93,11 | 0,36 | | 9,27 |
| Cogon Grass Al-Si/80-20 | 10 | 90 | 1,69 | | 8,41 |

**Gambar 4.6** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* campuran PP menggunakkan katalis sintetis Al-Si dari *cogon grass* dengan konsentrasi 10% wt pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6]

Plastik limbah diperoleh dari Pulau Sichang di provinsi Chonburi, Thailand. Lalu, 2 kg alang-alang dikumpulkan dari provinsi Surin di Thailand. *Cogon grass* dipotong menjadi 15 cm, lalu dicuci dan selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 105oC selama 24 jam.

Untuk proses sintesis katalis, prosesnya dimulai dengan mengekstrak silika, alang-alang di-*­reflux* dalam larutan HCl dengan konsentrasi 0,1M (1000 g alang-alang/100 ml HCl) pada 90oC selama 10 jam. Kemudian, alang-alang dikalsinasi di suhu 600oC dan 700oC untuk 2 jam dan 4 jam. Empat rasio atom (wt%) Dari Al-Si (20:80, 40:60, 60:40, dan 80:20) dipersiapkan. Nomenklatur katalis adalah sebagai berikut: Al-Si/20–80, Al–Si/40–60, Al–Si/60–40, dan Al–Si/80–20. Prekursor Si ini dicampur selama 60 menit dengan aluminium isopropoksida dan isopropanol; silika yang diekstrak dari alang-alang ditambahkan dan diaduk selama 60 menit dan *aged* pada suhu ruang selama 24 jam. Campuran akhir di­-*treat* pada 110oC selama 24 jam dan dikalsinasi pada 650oC selama 2 jam.

Katalis Al-Si disiapkan dari alang-alang dengan *treatment* asam dan kalsinasi. Silika amorf ini dikombinasikan dengan prekursor aluminium untuk membentuk katalis Al-Si. Katalis yang paling baik ditunjukkan pada katalis *cogon grass* dengan rasio Al-Si 60/40 dengan konsentrasi 10% wt yang menghasilkan *liquid* sebanyak 93,11% wt, gas 0,36% wt, dan *solid* sebanyak 9,27% wt.[6]

**Tabel 4.7** Kompilasi distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis dengan konsentrasi yang bervariasi pada temperatur *average* 391oC dan waktu tahan *average* 36,5 menit.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | Catalyst Conc. (% wt) | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) | Reference, Year |
| *Plain-*WBKD | 0 | 69,82 | 28,84 | 1,34 | Ahmad et. al., 2017[1] |
|  | 0,5 | 70,27 | 20,21 | 9,52 |  |
|  | 1 | 75,68 | 17,65 | 6,67 |  |
|  | 2,5 | 66,35 | 21,85 | 11,81 |  |
|  | 5 | 64,66 | 23,73 | 11,61 |  |
|  | 10 | 56,3 | 29,45 | 14,25 |  |
| Fe2O3-WBKD | 0 | 69,82 | 28,84 | 1,34 |  |
|  | 0,5 | 89,22 | 9,95 | 0,83 |  |
|  | 1 | 91,01 | 8,8 | 0,1 |  |
|  | 2,5 | 96,7 | 3,03 | 0,26 |  |
|  | 5 | 78,02 | 18,01 | 3,97 |  |
|  | 10 | 73,53 | 19,61 | 6,68 |  |
| BHZSM-5 | 5 | 88 | 11,7 | 0,3 | Almeida et. al., 2018[2] |
| USY | 5 | 70 | 26 | 4 |  |
| LUSY | 5 | 70 | 15 | 15 |  |
| BUSY | 5 | 66 | 29 | 5 |  |
| USY | 10 | 80 | 18 | 2 | Tazerout et. al., 2018[3] |
| USY | 0 | 85,5 | 14,5 | 0 | Kassargy et. al., 2017[4] |
|  | 10 | 82 | 16,8 | 1,2 |  |
| Na-Al-SBA-15 (30) | 10 | 62,4 | 30,2 | 7,4 | Jiraroj et. al., 2016[5] |
| H-Al-SBA-15 (30) | 10 | 73 | 24 | 3 |  |
| H-Al-SBA-15 (60) | 10 | 68 | 29,4 | 2,6 |  |
| Cogon Grass Al-Si/20-80 | 10 | 86,67 | 0,65 | 12,46 | Sangpatch et. al., 2019[6] |
| Cogon Grass Al-Si/40-60 | 10 | 88,89 | 1,42 | 10,67 |  |
| Cogon Grass Al-Si/60-40 | 10 | 93,11 | 0,36 | 9,27 |  |
| Cogon Grass Al-Si/80-20 | 10 | 89 | 0,69 | 6,53 |  |

**Gambar 4.7** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis dengan konsentrasi *average* 5,7% wt pada temperatur *average* 391oC dengan waktu tahan *average* 36,5 menit.

Berdasarkan data kompilasi, dapat diamati bahwa *liquid yield* rata-rata sebesar 77 wt% ± 10,93, *gas yield* rata-rata sebesar 17 wt% ± 10,06, *solid yield* rata-rata sebesar 6% wt ± 4,8. Hal ini berarti bahwa katalis-katalis yang sedang dipelajari dalam *literature review* ini menunjukkan aktivitas *catalytic* yang sangat baik khususnya untuk target saat ini yaitu produksi bahan bakar cair. Konsentrasi katalis yang optimum berdasarkan nilai modus yaitu 10% wt dan nilai rata-rata optimum yaitu 6,4% wt.

Katalis yang dipelajari telah mengurangi produk *char*/residu yang menunjukkan aktivitas katalis dalam mengkonversi PP menjadi bahan bakar cair yang cukup baik. Hasil *liquid* yield yang tinggi dapat diartikan bahwa katalis yang memiliki keasaman sedang mungkin telah membantu dalam proses cracking mulai dari proses inisiasi, β-*scission*, H-transfer, reaksi *cyclization* dan aromatisasi.[1]

Mengenai kandungan aromatik dan non aromatik, cairan hasil *catalytic cracking* memiliki sifat yang sangat aromatik. Hal ini tampaknya cukup mengejutkan karena sampel plastik yang digunakan terdiri dari polyolefin. Namun, ada bukti dalam literatur bahwa kandungan aromatik yang tinggi dapat diperoleh dalam *cracking* poliolefin, meskipun tidak ada kesepakatan tentang mekanisme pembentukan aromatic. Dua rute telah disarankan. Reaksi Diels–Alder diikuti oleh *dehydrogenation* dan reaksi siklonik unimolekuler diikuti oleh *dehydrogenation* yang oleh beberapa penulis disebut "*pyrosynthesis*".[8]

Seperti yang diketahui, semua senyawa dengan nomor atom karbon lebih besar dari C10 adalah senyawa aromatik, oleh karena itu semua senyawa non aromatik terkandung dalam senyawa fraksi C5-C9, dan lebih khusus lagi mereka adalah olefin bercabang. Dengan mempertimbangkan sifat sampel yang digunakan (terutama terdiri dari poliolefin) dan reaksi *cracking* membutuhkan sejumlah besar hidrogen yang tersedia untuk membentuk senyawa stabil, mekanisme reaksi global berikut dapat disarankan : (1) *cracking* polimer untuk menghasilkan olefin dan olefinic radikal dan (2) pembentukan aromatik dari struktur olefinik, baik radikal atau struktur yang stabil, karena senyawa olefinik yang stabil dapat bereaksi lebih lanjut dan membentuk aromatik jika kondisi *cracking* menguntungkan yaitu pada suhu tinggi dan waktu tinggal yang lama.[8] Karena kompleksitas reaksi dan produkyang terlibat, penjelasan untuk membenarkan mekanisme ini terus dikembangkan. Harus diingat bahwa ada kesulitan besar dalam membahas mekanisme reaksi *cracking* polimer, terutama ketika sistem yang komplek, bahkan dengan adanya katalis dan proses *multistep*. Di satu sisi, ketika katalis digunakan dalam proses pirolisis, dua jenis mekanisme dekomposisi yang luas terjadi secara bersamaan : *thermal cracking*, yang pada gilirannya dapat mengikuti mekanisme yang berbeda (*random chain scission*, *end-chain scission* dan/atau eliminasi gugus samping), dan *catalytic cracking* (adsorpsi ion karbenium di permukaan katalis, beta *scissions* dan desorpsi). Akibatnya berbagai macam produk dihasilkan, yang pada gilirannya akan bereaksi satu sama lain, menghasilkan sejumlah besar mekanisme reaksi yang memungkinkan.[8]

*Catalytic cracking* padaPP yang memproduksi *liquid* tinggi juga dapat dikaitkan dengan waktu tahan. Molekul yang mengalami *cracking* secara singkatdi pori-pori katalis bisa menyebabkan terhambatnya proses *cracking* yang berlebih.[3] Sehubungan dengan *yield* liquid, penambahan Na+ dan H+ pada katalis juga memberikan proporsi cairan tinggi. Hal ini disebabkan oleh efek kedua ion tersebut dalam katalis, dimana ion Na+ mengurangi keasaman dalam struktur katalis sehingga menghasilkan kinerja katalis yang kurang efektif dibandingkan dengan H+ walaupun dengan struktur yang sama.[5]

Peningkatan produksi gas untuk *catalytic cracking* PP disebabkan oleh fakta bahwa komponen yang lebih berat diubah menjadi komponen gas melalui reaksi *cracking* sekunder.[4] Peningkatan hasil juga dapat dikaitkan dengan peningkatan konsentrasi katalis yang dihubungkan dengan penurunan hasil *liquid* yang mungkin disebabkan karena penambahan katalis yang berlebihan dapat mempercepat reaksi *cracking* untuk menghasilkan produk volatil yang *non-condensable*.[1]

Hasil char yang rendah atau dapat diabaikan menunjukkan bahwa PP pada proses *cracking* telah diurai menjadi zat volatil yang *condensable* maupun *non-condensable* untuk pembentukan minyak cair dan gas. *Char* atau residu biasanya dihasilkan dari reaksi polimerisasi ulang sekunder.[1] Pembentukan kokas yang juga berkontribusi pada *yield solid* juga bisa disebabkan karena beberapa mekanisme seperti aromatisasi dan *dehydrogenation* pada permukaan katalis selama proses *cracking*.[4]

Hasil penelitian Ahmad *et.al.* (2017)[1] menyimpulkan bahwa konsentrasi katalis sangat mempengaruhi hasil cairan dan gas. Penggunaan katalis dengan konsentrasi lebih rendah untuk pembentukan minyak cair ditemukan lebih efektif. Katalis dengan rasio yang lebih rendah dapat menawarkan situs aktif yang lebih banyak di permukaan.[1] Disambung oleh Sangpatch *et.al.*(2019)[6], konsentrasi katalis Al-Si 10 wt% menunjukkan sifat asam yang sedang untuk mempercepat reaksi.[6]

Aktivitas *catalytic cracking* juga terkait dengan keasamannya. Berdasarkan penelitian dari Akpanudoh *et.al.**liquid yield* meningkat sebanding dengan keasaman katalis dengan nilai keasaman maksimum sekitar 7%. Di atas nilai ini, hasil gas meningkat karena proses *cracking* yang berlebihan.Sementara di bawah nilai ini, polimer tidak sepenuhnya dikonversi karena kurangnya situs asam.[3]

Berdasarkan dari jurnal Akpanudoh *et.al.* (2005)[9], nilai keasaman atau yang bisa disebut dengan *acidity content* mempunyai rumus sebagai berikut (Persamaan 4.1). *Pure catalyst acidity* bernilai100% sesuai dengan kondisi bahwa pada system terdiri dari katalis murni dengan tidak adanya polimer didalam sistem. Contoh perhitungannya yaitu, terdapat katalis sebanyak 50% dan polimer sebanyak 50% dalam sistem dengan *surface acidity* atau *catalyst acidity* sebesar 36%, maka *acidity content* bernilai 17,9%.[9]

*Acidity Content* = .…(4.1)

### Pengaruh Rasio Si/Al Terhadap Distribusi *Yield*

Rasio Si/Al pada katalis menjadi pertimbangan yang penting untuk pemilihan produksi *liquid* maupun gas.[4] Komposisi Si atau Al ini sangat berpengaruh terhadap keasaman katalis[2][4] dan sifat permukaan katalis[5][6] yang pastinya akan berpengaruh dalam proses *cracking*. Maka dari itu, pada subbab ini akan dielaborasikan data dan pembahasan terkait rasio Si/Al terhadap distribusi *yield* yang nantinya akan dikorelasikan dengan konsentrasi dan sifat permukaan katalis (dibahas secara khusus pada bab V).

**Tabel 4.8** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakan modifikasi katalis Al-SBA-15 10% wt dengan rasio Si/Al yang bervariasi pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | Si/Al Ratio | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) |
| Na-Al-SBA-15 | 30 | 62,4 | 30,2 | 7,4 |
| H-Al-SBA-15 | 30 | 73 | 24 | 3 |
| H-Al-SBA-15 | 60 | 68 | 29,4 | 2,6 |

**Tabel 4.9** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* campuran PP menggunakan katalis sintetis Al-Si *cogon grass* 10% wtdengan rasio Si/Al yang bervariasi pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | Si/Al Ratio | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) |
| Cogon Grass Al-Si/20-80 | 20 | 86,67 | 0,65 | 12,46 |
| Cogon Grass Al-Si/40-60 | 40 | 88,89 | 1,42 | 10,67 |
| Cogon Grass Al-Si/60-40 | 60 | 93,11 | 0,36 | 9,27 |
| Cogon Grass Al-Si/80-20 | 80 | 90 | 1,69 | 8,41 |

**Gambar 4.8** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakan modifikasi katalis Al-SBA-15 10% wt dengan rasio Si/Al yang bervariasi pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5]

**Gambar 4.9** Distribusi *yield* (%) dari cracking campuran PP menggunakan katalis sintetis Al-Si cogon grass 10% wt dengan rasio Si/Al yang bervariasi pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6]

Hasil optimum dari data pertama (Tabel 4.8) terjadi pada katalis H-Al-SBA-15 dengan rasio Si/Al30/70, dengan distribusi yield *liquid,* gas, dan *solid* sebanyak73%, 24, dan 3% wt. Lalu, pada data kedua (Tabel 4.9) terjadi pada katalis *Cogon Grass* Al-Si/60-40 dengan rasio Si/Al 40/60.[5][6]

**Tabel 4.10** Kompilasi distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis 10% wt dengan rasio Si/Al yang bervariasi pada temperatur *average* 365oC selama 30 menit*.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | Si/Al Ratio | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) | Reference, Year |
| Na-Al-SBA-15 (30) | 30/70 | 62,4 | 30,2 | 7,4 | Jiraroj et. al., 2016[5] |
| H-Al-SBA-15 (30) | 60/40 | 73 | 24 | 3 |  |
| H-Al-SBA-15 (60) | 60/40 | 68 | 29,4 | 2,6 |  |
| Cogon Grass Al-Si/20-80 | 20/80 | 86,67 | 0,65 | 12,46 | Sangpatch et. al., 2019[6] |
| Cogon Grass Al-Si/40-60 | 40/60 | 88,89 | 1,42 | 10,67 |  |
| Cogon Grass Al-Si/60-40 | 60/40 | 93,11 | 0,36 | 9,27 |  |
| Cogon Grass Al-Si/80-20 | 80/20 | 89 | 0,69 | 6,53 |  |

**Gambar 4.10** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis 10% wt dengan rasio Si/Al *average* 50/50 pada temperatur *average* 365oC selama 30 menit.

Berdasarkan data kompilasi, dapat diamati bahwa *liquid yield* rata-rata sebesar 80% wt ± 12,1, *gas yield* rata-rata sebesar 12,5% wt ± 14,6, *solid yield* rata-rata sebesar 7,5% wt ± 3,7. Rasio Si/Al yang optimum berdasarkan rata-rata nilaioptimum yaitu 35/65.

Pembentukan *char* disukai oleh zeolit dengan rasio Si/Al yang lebih tinggi yang memiliki situs asam terkuat.[2] Jika rasio Si/Al menurun, keasaman akan meningkat. Keasaman yang terlalu tinggi dapat menghasilkan produk kokas (pengendapan karbon pada permukaan katalis) yang dapat mengarah ke penonaktifan katalis.[6] Rasio Si/Al yang rendah membuat densitas situs asamnya lebih tinggi tetapi dengan kekuatan asam yang lebih rendah yang meningkatkan produksi fraksi yang lebih ringan seperti *liquid* dan gas.[2]

Hal serupa juga diungkapkan oleh Kassargy *et. al.* (2017)[4]. Rasio Si/Al yang rendah dapat meningkatkan jumlah situs asam, tetapi kekuatan asamnya relatif kurang jelas. Sedangkan, rasio Si/Al yang lebih tinggi dapat menurunkan secara drastis jumlah situs asam.[4]

Oleh karena itu, rasio Si/Al yang dipilih untuk penggunaan katalis tampaknya menjadi pertimbangan yang penting untuk pemilihan produksi *liquid* maupun gas.[4] Dengan demikian, rasio Si/Al yang tepat untuk memperoleh keasaman sedang sangatlah diperlukan.[6]

## Pembahasan

Produksi *liquid* secara umumdisebabkan oleh penguraian hidrokarbon menjadi hidrokarbon cair yang lebih ringan oleh bantuan katalis.[4] Produksi gas untuk *catalytic cracking* PP disebabkan oleh reaksi *cracking* sekunder[4] atau akibat reaksi *cracking* yang berlebihan.[1] Produksi kokas atau *solid* disebabkan karena beberapa mekanisme seperti aromatisasi dan *dehydrogenation* pada permukaan katalis.[4] Hasil char yang rendah menunjukkan bahwa PP telah diurai menjadi zat volatil yang *condensable* dan *non-condensable* untuk pembentukan minyak cair dan gas yang berarti katalis-katalis pada studi ini menunjukkan aktivitas yang baik dalam mengkonversi PP menjadi minyak cair.[1]

Berdasarkan penelitian Ahmad *et. al.* (2017)[1] konsentrasi katalis sangat mempengaruhi hasil cairan dan gas. Penggunaan katalis dengan konsentrasi lebih rendah untuk pembentukan minyak cair ditemukan lebih efektif karena dapat menawarkan situs aktif yang lebih banyak di permukaan. Peningkatan hasil gas dengan peningkatan konsentrasi katalis dapat dikaitkan dengan penurunan hasil *liquid* yang mungkin disebabkan karena penambahan katalis yang berlebihan.[1] Secara eksperimental berdasarkan penelitian Sangpatch *et.al*. (2019)[6], konsentrasi katalis silika-alumina sebanyak 10 wt% menunjukkan sifat asam yang sedang untuk mempercepat reaksi.[6]

Selain ditinjau dari konsentrasi, katalis pada *literature review* ini juga dipilih karena rasio Si/Al yang sedang. Berdasarkan penelitian Kassargy *et.al.* (2017)[4] rasio Si/Al yang rendah dapat meningkatkan jumlah situs asam, tetapi kekuatan asamnya relatif kurang jelas. Hal ini disambung oleh Sangpatch *et. al.* (2019)[6] yang mengatakan bahwa jika rasio Si/Al menurun, keasaman akan meningkat dan jika dibiarkan terlalu tinggi, maka dapat menyebabkan produksi kokas (pengendapan karbon pada permukaan katalis) yang dapat mengarah ke penonaktifan katalis.[6]

Kassargy *et.al.* (2017)[4] juga berpendapat bahwa rasio Si/Al yang lebih tinggi dapat menurunkan secara drastis jumlah situs asam dan berkaitan dengan hal itu Almeida et. al. (2018)[2] mengatakan bahwa pembentukan *char* disukai oleh katalis dengan rasio Si/Al yang lebih tinggi.[2] Oleh karena itu, pemilihan rasio Si/Al pada katalis dalam proses *cracking* merupakan salah satu kunci untuk meningkatkan produksi *liquid*.[4]

Sehingga, dapat digarisbawahi bahwa pengaruh konsentrasi katalis pada *cracking* sangatlah penting. Konsentrasi yang sedikit dirasa cukup efektif untuk pembentukan bahan bakar cair. Nilai sedikit ini berdasarkan nilai modus yaitu 10% wt dan nilai rata-rata optimum yaitu 6,4% wt.

Jika dikorelasikan dengan rasio Si/Al, semakin tinggi konsentrasi katalis, maka akan meningkatkan jumlah relatif Si/Al dari katalis yang dapat menurunkan situs asam. Sehingga menyebabkan produksi *char* yang berlebih karena kurangnya asam untuk proses konversi melalui *cracking*. Semakin rendah konsentrasi katalis, maka akan menurunkan jumlah relatif Si/Al dari katalis yang dapat meningkatkan situs asam (tetapi kekuatan asamnya relatif kurang jelas). Sehingga dapat meningkatkan produk kokas dan gas karena *cracking* yang berlebihan. Maka dari itu, rasio Si/Al sedang sangat diperlukan dan rasio yang optimum untuk produksi bahan bakar cair berdasarkan rata-rata nilai optimum dari kompilasi data *literature review* iniyaitu 35/65.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB V PEMBAHASAN SIFAT PERMUKAAN KATALIS

## Tinjauan Pustaka Khusus

Pada subbab ini, akan dibahas terkait tinjauan pustaka khusus dari literatur yang mengerucut ke topik sifat permukaan katalis. Data berupa tabel, grafik dan gambar ataupun pembahasan yang bersifat deksriptif dan naratif dari literatur sudah diolah sedemikan rupa sehingga disajikan seperti berikut :

### Pengaruh Sifat Permukaan Katalis Terhadap Distribusi *Yield*

Sifat permukaan katalis pada *literature review* ini dibatasi menjadi dua sifat, yaitu area permukaandan volume pori. Kedua sifat ini merupakan fitur penting untuk memfasilitasi akses molekul plastik untuk menuju ke situs asam katalis sehingga dapat memulai aktivitas *cracking*. Namun tetapi, komposisi Si dan Aldari katalis juga perlu dipertimbangkan karena dapat mempengaruhi sifat permukaan.[2]

Secara umum, ukuran pori yang lebih besar dapat memberikan proporsi cairan yang lebih tinggi.[5] Hal ini juga berlaku pada area permukaan, area permukaan yang luas dapat memberikan produk *liquid* yang tinggi karena *cracking* yanglebih sering.[6] Selain kedua penjelasan tersebut, masih banyak pengaruh lain dari sifat permukaan katalis dan rasio Si/Al terhadap distribusi *yield* yang akan dibahas dalam bab pembahasan topik spesifik berikut.

**Tabel 5.1** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan modifikasi katalis HZSM-5 dan USY dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur 380oC selama 30 menit.[2]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | BET Surface  Area (m2g-1) | Pore Volume  (cm3g-1) | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) |
|  |
| HZSM-5 | 369 | 0,11 | 17 | 45 | 38 |  |
| BHZSM-5 | 410 | 1,16 | 88 | 11,7 | 0,3 |  |
| LHZSM-5 | 692 | 0,7 | 46 | 1 | 54 |  |
| USY | 503 | 0,05 | 70 | 26 | 4 |  |
| BUSY | 580 | 0,1 | 66 | 29 | 5 |  |

**Gambar 5.1** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan modifikasi katalis HZSM-5 dan USY dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur 380oC selama 30 menit.[2]

Mesoporositas dapat dikenalkan ke dalam sampel zeolit melalui *post-synthesis treatment* seperti *acid leaching* (L) dan *alkaline treatment* (B). *Alkaline treatment* (B+zeolit) dilakukan untuk desilikasi struktur zeolit sehingga mengurangi rasio Si/Al dalam zeolit dan menghasilkan *mesopores*. Sebaliknya, *acid leaching* (L+zeolit) bertujuan untuk menghilangkan *framework* ekstra dari aluminium, sehingga meningkatkan rasio Si/Al dan juga menghasilkan *mesopores*. Pengaruh perawatan asam dan basa pada properti tekstural dari zeolit diperlihatkan pada Tabel 5.1. Dapat diamati bahwa kedua perlakuan tersebut meningkatkan area spesifik dan volume pori*.*

Meskipun LHZSM-5 menghadirkan area spesifik dan *volume* pori yang lebih tinggi dari HZSM-5. Hasil menunjukkan bahwa pembentukan residu padat disukai atas LHZSM-5. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa meskipun peningkatan area spesifik dan volume pori memainkan peran penting dalam *cracking*, komposisi Si/Aldari katalis juga perlu dipertimbangkan.

Untuk sampel BHZSM-5 yang memiliki volume pori tertinggi, molekul besar hingga sedang dapat mengakses situs asam di dalam struktur pori-pori sehingga mendukung *cracking* berkelanjutan yang meningkatkan produksi *liquid*. Selain itu, ZSM-5 yang diberi perlakuan *alkaline* (BHZSM-5) dapat mengurangi silikon dari struktur zeolit sehingga dapat meningkatkan kepadatan situs asam berkekuatan rendah dan menghasilkan *mesopores*. Kedua fitur ini tampaknya mendukung pembentukan produk yang lebih ringan (C rendah) seperti hidrokarbon cair. Berdasarkan Tabel 5.1, katalis dengan BET *surface area* dan volume pori optimum yang menghasilkan *liquid* tertinggi terdapat pada katalis BHZSM-5 dengan nilai area permukaan dan volume pori sebesar 410 m2g-1 dan 1,16 cm3g-1.

**Tabel 5.2** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan modifikasi katalis SBA-15 dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | BET Surface  Area (m2g-1) | Pore Volume  (cm3g-1) | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) |
|  |
| Na-Al-SBA-15 (30) | 431 | 0,92 | 62,4 | 30,2 | 7,4 |  |
| H-Al-SBA-15 (60) | 571 | 0,92 | 73 | 24 | 3 |  |
| H-Al-SBA-15 (30) | 441 | 0,92 | 68 | 29,4 | 2,6 |  |

**Gambar 5.2** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP menggunakkan variasi katalis SBA-15 dengan BET *surface area* yang berbeda pada temperatur 380oC selama 30 menit.[5]

Sehubungan dengan hasil produk, baik Na+ dan H+ yang mengandung katalis Al-SBA-15(30) memberikan proporsi cairan yang lebih tinggi daripada produk gas. Hal ini dijelaskan oleh ukuran pori yang lebih besar pada Al-SBA-15.

Sehubungan dengan hasil produk, baik Na+ dan H+ yang mengandung katalis Al-SBA-15(30) memberikan proporsi cairan yang lebih tinggi daripada produk gas. Hal ini dijelaskan oleh kondisi asam yang lebih ringan dan ukuran pori yang lebih besar pada Al-SBA-15. Berdasarkan Tabel 5.2, katalis dengan BET *surface area* dan volume pori optimum yang menghasilkan *liquid* tertinggi terdapat pada katalis H-AL-SBA-15 (60), dengan nilai area permukaan dan volume pori sebesar 571 m2g-1 dan 0,92 cm3g-1.[5]

**Tabel 5.3** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* campuran PP menggunakkan katalis sintetis Al-Si dari *cogon grass* dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | BET Surface  Area (m2g-1) | Pore Volume (cm3g-1) | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) |
|  |
| Cogon Grass Al-Si/20-80 | 102 | 0,3 | 86,67 | 0,65 | 12,46 |  |
| Cogon Grass Al-Si/40-60 | 143 | 0,47 | 88,89 | 1,42 | 10,67 |  |
| Cogon Grass Al-Si/60-40 | 200 | 0,72 | 93,11 | 0,36 | 9,27 |  |
| Cogon Grass Al-Si/80-20 | 163 | 0,58 | 89 | 1,69 | 8,41 |  |

**Gambar 5.3** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* campuran PP menggunakkan katalis sintetis Al-Si dari *cogon grass* dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur 350oC selama 30 menit.[6]

Secara umum, pada saat proses kalsinasi, meningkatnya suhu dan waktu akan menghasilkan distribusi ukuran pori yang lebih baik dan peningkatan luas area permukaan hingga tingkat tertentu. Namun, ketika suhu terlalu tinggi dan waktu tahan terlalu lama, maka akan menyebabkan *sintering* padapori. Sehingga luas area permukaan akan sangat menurun, sedangkan ukuran pori meningkat. Dengan demikian, suhu dan waktu harus dioptimalkan ketika proses kalsinasi untuk memperoleh ukuran pori dan luas area permukaan yang cocok. Oleh karena itu, silika-alumina katalis dari rumput cogon dengan rasio 60 wt% silika memperoleh area permukaan dan volume pori tertinggi untuk proses *cracking.*

Hasil *catalytic cracking* limbah plastik menggunakan katalis Al-Si dari alang-alang dengan konsentrasi 10% wt dengan alumina 60% wt memperoleh hasil minyak cair tertinggi (93.11% wt), *char* (9,27% wt), dan gas (0,36% wt) karena memiliki *surface* area tertinggi yang menyebabkan lebih banyak *cracking*. Katalis tersebut memiliki nilai area permukaan dan volume pori sebesar 200 m2g-1 dan 0,72 cm3g-1.[6]

**Tabel 5.4** Kompilasi distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis dengan BET *surface area* dan volume pori yang bervariasi pada temperatur *average* 370oCselama30 menit*.*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Catalyst | BET Surface  Area (m2g-1) | Pore Volume (cm3g-1) | Liquid (% wt) | Gas (% wt) | Solid (% wt) | Reference, Year |
|  |
| HZSM-5 | 369 | 0,11 | 17 | 45 | 38 | Almeida et. al., 2018[2] |  |
| BHZSM-5 | 410 | 1,16 | 88 | 11,7 | 0,3 |  |  |
| LHZSM-5 | 692 | 0,7 | 46 | 1 | 54 |  |  |
| USY | 503 | 0,05 | 70 | 26 | 4 |  |  |
| BUSY | 580 | 0,1 | 66 | 29 | 5 |  |  |
| Na-Al-SBA-15 (30) | 431 | 0,92 | 62,4 | 30,2 | 7,4 | Jiraroj et. al., 2016[5] |  |
| H-Al-SBA-15 (60) | 571 | 0,92 | 73 | 24 | 3 |  |  |
| H-Al-SBA-15 (30) | 441 | 0,92 | 68 | 29,4 | 2,6 |  |  |
| Cogon Grass Al-Si/20-80 | 102 | 0,3 | 86,67 | 0,65 | 12,46 | Sangpatch et. al., 2019[6] |  |
| Cogon Grass Al-Si/40-60 | 143 | 0,47 | 88,89 | 1,42 | 10,67 |  |  |
| Cogon Grass Al-Si/60-40 | 200 | 0,72 | 93,11 | 0,36 | 9,27 |  |  |
| Cogon Grass Al-Si/80-20 | 163 | 0,58 | 89 | 1,69 | 8,41 |  |  |

**Gambar 5.4** Distribusi *yield* (%) dari *cracking* PP atau campuran PP menggunakkan katalis dengan BET *surface area*dan volume pori *average* sebesar 383,75 m2g-1 dan 0,58 cm3g-1pada temperatur *average* 370oC selama30 menit.

Berdasarkan data kompilasi, dapat diamati bahwa *liquid yield* rata-rata sebesar 70,5 wt% ± 22, *gas yield* rata-rata sebesar 16,5 wt% ± 15,64 dan *solid yield* rata-rata sebesar 13% wt ± 16,22. Lalu, rata-rata optimum dari BET *surface area* dan volume pori sebesar 394 m2g-1 dan 0,94 cm3g-1. Hal ini berarti bahwa katalis yang sedang dipelajari dalam *literature review* ini menunjukkan aktivitas *cracking* yang sangat baik terkait dengan pengaruh *surface* area dan ukuran pori untuk produksi bahan bakar cair.

*Specific surface area* dan volume pori merupakan fitur yang penting untuk memaksimalkan aktivitas *catalytic cracking*.[2] Ukuran pori yang lebih besar dapat memberikan proporsi cairan yang lebih tinggi dibandingkan dengan gas.[5] Produk *liquid* yang tinggi juga disebabkan oleh luasnya area permukaan spesifik yang menyebabkan lebih banyak *cracking*.[6] Selain peningkatan *surface area* dan volume pori, kehadiran jumlah situs asam yang tinggi dengan keasaman rendah (terkait dengan rasio Si/Al yang lebih rendah) juga mendukung produksi fraksi yang lebih ringan (*liquid*+gas).[2] Maka dari itu, area permukaan spesifik dan volume pori memainkan peran penting dalam *cracking.* Namun tetapi, komposisi Si/Aldari katalis juga perlu dipertimbangkan.[2]

Korelasi yang baik antara volume pori dan jumlah fraksi cair diamati. Hal ini dikaitkan dengan fakta bahwa untuk volume pori yang lebih tinggi dapat memudahkan molekul besar-menengah untuk mengakses situs asam di dalam struktur pori sehingga dapat mendukung *cracking* yang akhirnya meningkatkan produksi *liquid*. Sehingga, untuk mendapatkan jumlah fraksi cair yang lebih tinggi zeolite dengan volume pori yang lebih tinggi lebih disukai. Sedangkan untuk produksi fraksi gas, zeolit dengan volumepori menengah memberikan hasil yang lebih baik.[2]

Pengurangan silikon dari struktur katalis dapat meningkatkan kepadatan situs asam yang kekuatannya rendah. Fitur ini tampaknya mendukung pembentukan produk yang lebih ringan (C rendah) seperti hidrokarbon cair.[2] Semakin tinggi rasio SiO2/Al2O3 pada katalis (kandungan Al dan keasaman yang lebih rendah) biasanya memiliki luas area permukaan yang lebih tinggi juga. Sehingga, meningkatnya rasio SiO2/Al2O3 juga menyebabkan peningkatan tingkat konversi PP menjadi *liquid* dan gas yang disebabkan oleh *specific surface area* yang lebih luas.Maka dari itu, aktivitas katalis diketahui menurun dengan turunnya luas area permukaan.[5]

Perilaku rasio Si/Al terhadap area permukaan pada katalis dapat dijelaskan pada penelitian Sangpatch *et. al.* (2019)[6]. Katalis Al-Si sintetis dari alang-alang dengan alumina 60% memperoleh luas area permukaan BET tertinggi. Hasil ini terkait dengan tabel 5.3 yang menunjukkan bahwa luas area permukaan katalis Al-Si menurun ketika memuat alumina dengan 20 dan 40 wt% karena alumina diendapkan dan disimpan ke dalam pori-pori silika amorf (Gambar 5.5a). Namun, ketika rasio alumina meningkat menjadi 60 wt%, luas area permukaan silika amorf menjadi lebih tinggi karena difusi alumina ke dalam permukaan silika amorf yang meningkatkan luas area permukaan silika amorf (Gambar 5.5b). Ketika konsentrasi alumina meningkat menjadi 80 wt%, luas area permukaan silika amorf menurun, karena jumlah alumina yang didifusi, diendapkan, dan disimpan di pori-pori dan permukaan luar sangat tinggi sehingga mengurangi luas area permukaan silika amorf (Gambar 5.5c).[6]



**Gambar 5.5** Area permukaan dari silika amorf: (a) Al–Si/20–80 dan Al–Si/40–60; (b) Al–Si/60–40; (c) Al-Si/80-20.[6]

## Pembahasan

*Specific surface area* dan volume pori merupakan fitur penting untuk memfasilitasi akses molekul plastik secara massal untuk menuju ke situs asam katalis sehingga dapat memulai aktivitas *catalytic cracking*. Almeida *et.al.* (2018)[2] menyarankan produksi fraksi yang lebih ringan (*liquid*+gas) terkait dengan area permukaan spesifik dan ukuran pori yang lebih tinggi. Pembentukan *char* disukai atas zeolit denganrasio Si/Al yang lebih tinggi yang memiliki situs asam terkuat. Di sisi lain, rasio Si/Al yang lebih rendah yang memiliki *densitas* situs asam yang lebih tinggi walaupun kekuatannya lebih rendah tampaknya meningkatkan produksi fraksi yang lebih ringan.[2]

Selain itu, volume pori yang tinggi menyebabkan molekul besar hingga sedang dapat lebih mudah mengakses situs asam di dalam struktur pori-pori katalis sehingga memudahkan *cracking* yang akibatnya meningkatkan produksi *liquid*. Maka dari itu, untuk mendapatkan jumlah fraksi cair yang lebih tinggi, katalis dengan volume pori yang lebih tinggi lebih disukai. Sedangkan untuk produksi fraksi gas, katalis dengan volumepori menengah memberikan hasil yang lebih baik.[2]

Sehingga, dari pemaparan pembahasan dari berbagai jurnal tadi, dapat ditutup dengan pernyataan bahwa pengaruh *specific surface area* atau area permukaan spesifik dan ukuran pori sangatlah penting dalam proses *cracking*. Area spesifik dan ukuran pori yang bernilai tinggi dirasa cukup efektif karena dua sifat ini merupakan fitur penting untuk memfasilitasi akses molekul plastik untuk menuju ke situs asam dan memulai *cracking.* Jika situs tersebut mudah diakses maka akan terjadi *cracking* yang mudah sehingga dapat meningkatkan produksi *liquid.* Di sisi lain, untuk mentargetkan fraksi gas bisa dengan pemilihan ukuran pori yang lebih kecil.

Hal ini juga berkaitan dengan rasio Si/Al, Semakin tinggi rasio Si/Alpada katalis (kandungan Si tinggi tapi Al dan keasamannya rendah) biasanya memiliki luas area permukaan yang lebih tinggi yang dapat meningkatkan tingkat konversi *cracking* secara keseluruhan. Tetapi, kenaikan rasio Si/Al juga dapat menyebabkan kenaikan produk gas/*solid* dan penurunan produk cair. Sedangkan, semakin rendah rasio Si/Al pada katalis dapat menyebabkan penurunan luas area permukaan sehingga akan menurunkan kemampuan *cracking* dari katalis yang dapat menurunkan tingkat konversi *cracking*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

## Kesimpulan

Kesimpulan dari *literature review* ini yaitu :

1. Konsentrasi katalis pada *cracking* sangatlah penting. Konsentrasi sedikit efektif untuk pembentukan bahan bakar cair (nilai efektif berdasarkan modus dan rata-rata optimum yaitu 10% wt dan 6,42% wt). Jika dikorelasikan dengan rasio Si/Al maka semakin tinggi atau rendah konsentrasi katalis, jumlah relatif Si/Al juga akan terpengaruh. Hal ini dapat meningkatkan produksi *char,* kokas dan/atau gas. Sehingga konsentrasi katalis sedikit agar memperoleh jumlah relatif Si/Al sedang dari katalis sangat diperlukan dengan nilai rasio Si/Al optimum yaitu 35/65.
2. Area permukaan dan ukuran pori yang bernilai tinggi dirasa efektif (nilai efektif berdasarkan nilai rata-rata optimum yaitu 394 m2g-1 dan 0,94 cm3g-1). Kedua fitur ini digunakan untuk memfasilitasi akses molekul PP untuk memulai *cracking.* Hal ini juga dapat dikorelasikan dengan rasio Si/Al yaitu semakin tinggi atau rendah rasio Si/Alpada katalis, luas area permukaan dari katalis juga akan semakin tinggi atau rendah sehingga dapat mempengaruhi aktivitas *cracking*.

## Saran

Saran atau rekomendasi dari *literature review* ini yaitu :

1. Studi lebih lanjut dari jurnal *include* terkait sistem atau alat yang digunakan untuk *cracking*.
2. Studi lebih lanjut terkait variabel lain seperti temperatur atau waktu tahan.
3. Penambahan jurnal dengan kriteria inklusi yang sama agar hasil dari *literature review* ini lebih baik lagi.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# DAFTAR PUSTAKA

1. Ahmad, I., Khan, M. I., Khan, H., Ishaq, M., Khan, R., Gul, K., & Ahmad, W. 2017. *Influence Of Waste Brick Kiln Dust On Pyrolytic Conversion Of Polypropylene In To Potential Automotive Fuels*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *126*. Elsevier

2. Almeida, D., Santos, B. P. S., Marques, M. de F. v., & Henriques, C. A. 2018. *Petrochemical Feedstock From Pyrolysis Of Waste Polyethylene And Polypropylene Using Different Catalysts*. *Fuel*, *215*, 515–521. Elsevier

3. Kassargy, C., Awad, S., Burnens, G., Kahine, K., & Tazerout, M. 2018. *Gasoline And Diesel-Like Fuel Production By Continuous Catalytic Pyrolysis Of Waste Polyethylene And Polypropylene Mixtures Over USY Zeolite*. *Fuel*, *224*, 764–773. Elsevier

4. Kassargy, C., Awad, S., Burnens, G., Kahine, K., & Tazerout, M. 2017. *Experimental Study Of Catalytic Pyrolysis Of Polyethylene And Polypropylene Over USY Zeolite And Separation To Gasoline And Diesel-Like Fuels*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *127*, 31–37. Elsevier

5. Jiraroj, D., Chaipurimat, A., Kerdsa, N., Hannongbua, S., & Tungasmita, D. N. 2016. *Catalytic Cracking Of Polypropylene Using Aluminosilicate Catalysts*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *120*, 529–539. Elsevier

6. Sangpatch, T., Supakata, N., Kanokkantapong, V., & Jongsomjit, B. 2019. *Fuel Oil Generated From The Cogon Grass-Derived Al–Si (Imperata Cylindrica (L.) Beauv) Catalysed Pyrolysis Of Waste Plastics*. *Heliyon*, *5*(8). Elsevier

7. U.S. Environmental Protection Agency. 2020. *Polypropylene.* United States : CompTox Chemicals Dashboard.https://comptox.epa.gov/dashboard/DTXSID00872805W

8. Lopez-Urionabarrenechea, A., de Marco, I., Caballero, B. M., Laresgoiti, M. F., & Adrados, A. 2012. *Catalytic Stepwise Pyrolysis Of Packaging Plastic Waste*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *96*, 54–62. Elsevier

9. Akpanudoh, N. S., Gobin, K., & Manos, G. 2005. *Catalytic Degradation Of Plastic Waste To Liquid Fuel Over Commercial Cracking Catalysts: Effect Of Polymer To Catalyst Ratio/Acidity Content*. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, *235*(1–2), 67–73. Elsevier

# UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan dan menyelesaikan tugas akhir ini, penulis menerima dukungan baik moral dan materiel dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak dan kakak kandung penulis, serta kakak tiri dan seluruh keluarga besar yang tidak pernah berhenti mendoakan serta memberi dukungan moril maupun materiel kepada penulis. Khususnya kepada alm. Ibu penulis yang selalu hidup dalam hati dan memberi kekuatan serta semangat tersendiri kepada penulis.
2. Pak Hosta dan Bu Azzah selaku dosen pembimbing 1 dan 2 penulis yang membantu dan memberi ilmu kepada penulis selama pengerjaan TA ini.
3. Bapak Sigit selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
4. Bu Diah Susanti selaku dosen wali penulis selama 8 semester masa perkuliahan.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS yang telah membantu penulis hingga mencapai tahap tugas akhir ini.
6. Ibrahim Adnan dan Marecillnus Renaldo selaku teman-teman dari tim pirolisis yang selalu bersama dengan penulis selama pengerjaan TA ini.
7. Teman-teman laboratorium Inovasi Material Departemen Teknik Material FTIRS-ITS yang juga bersama-bersama berjuang dalam mengerjakan TA bersamaan dengan penulis, khususnya Albin Zuhdi yang juga mengambil penelitian *review* yang selalu menemani penulis selama pengerjaan tugas akhir.
8. Teman-teman angkatan MT19 penulis yang telah memberikan kenangan manis dan pahit selama masa perkuliahan.
9. Teman-teman dan seluruh keluarga PSM ITS, khususnya LA18 yang juga telah memberi pengalaman dan melatih kepada penulis selama masa perkuliahan.
10. Terakhir, terima kasih kepada Alif Hafizh Prakoso, *me,myself, and I* karena telah bertahan hingga sampai di titik ini dan berhasil menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua yang membutuhkan.

Surabaya, 14 Juli 2021

Penulis

Alif Hafizh Prakoso

# BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Alif Hafizh Prakoso. Lahir di Kota Surabaya, 28 Mei 1999 merupakan anak kedua dari pasangan Agus Suwandi dan alm. Ida Dwi Wahyuni. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari TK PGRI Pondok Maritim, SD Negeri Balasklumprik II/435 Surabaya, SMP Negeri 16 Surabaya, dan SMA Negeri 13 Surabaya. Kemudian pada tahun 2017, melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menjalani masa perkuliahan, penulis mengikuti kegiatan pelatihan LKMM Pra TD, LKMW TD, dan PKTI TD. Penulis juga sangat aktif di UKM Paduan Suara Mahasiswa ITS mulai dari tahun 2017. Penulis mengikuti berbagai macam pelatihan dan kepanitiaan seperti rangkaian kegiatan Latihan Alam 2017/2018 sebagai peserta, Konser “Armonia” tahun 2018 sebagai *singer* dan panitia sie keamanan dan perijinan, Konser “Frostiana” tahun 2018 sebagai *singer* dan panitia sie acara, serta beberapa kepanitiaan untuk kegiatan skala kecil di PSM ITS. Penulis juga menjadi staff Departemen Rumah Tangga PSM ITS pada periode 2018/2019. Prestasi penulis pada saat menjadi anggota PSM ITS yaitu sebagai juara II pada kategori *Mix Choir,* juara V pada kategori *Folklore* dan sebagai Grand Prix finalist pada Soegijapranata Choral Festival yang diadakan pada bulan September 2018. Pada tahun 2019. Penulis melakukan penelitian di bidang Material Inovatif dengan tugas akhir berjudul “Studi Pengaruh Konsentrasi Dan Sifat Permukaan Dikorelasikan Dengan Rasio Si/Al KatalisSilika-Alumina Dalam *Cracking* Sampah Plastik *Polypropylene* Untuk Produksi Bahan Bakar Cair”.