

PENGARUH TEMPERATUR GRAFITISASI DENGAN KATALIS FeCl_3 TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DENGAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA

CHE184650 Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

Oleh:

Marvin Fachry

(2016620032)

Pembimbing

Ratna Frida Susanti, Ph.D.

Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

2022

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : PENGARUH TEMPERATUR GRAFITISASI DENGAN KATALIS FeCl₃ TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DENGAN KARBONISASI HIDROTERMAL DAN AKTIVASI KIMIA

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 10 Februari 2022

Pembimbing 1



Ratna Frida Susanti, Ph.D.

Pembimbing 2



Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Marvin Fachry

NPM : 2016620032

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

Pengaruh Temperatur Grafitisasi dengan Katalis FeCl_3 terhadap Karakteristik Karbon Aktif dengan Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia

adalah hasil pekerjaan saya, dan seluruh ide, pendapat, materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan maka kami bersedia menanggung sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 10 Februari 2022



Marvin Fachry

(2016620032)

INTISARI

Tingginya angka produksi minyak akar wangi di Indonesia berjalan simultan dengan banyaknya limbah akar wangi yang dihasilkan. Pemanfaatan limbah akar wangi yang belum optimal mengakibatkan terjadinya isu lingkungan terkait limbah padat. Terdapatnya kandungan *lignocellulosic* pada limbah akar wangi membuat limbah tersebut dapat dimanfaatkan untuk diolah menjadi karbon aktif. Dalam dunia industri, karbon aktif banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang salah satunya adalah sebagai media penyimpanan energi yang diaplikasikan untuk menjadi salah satu komponen elektroda pada *lithium ion capacitor* (LIC).

Metode sintesis karbon aktif yang digunakan pada penelitian ini adalah karbonisasi hidrotermal, aktivasi kimia menggunakan reagen aktivasi KOH, dan grafitisasi katalitik yang dilakukan pasca aktivasi dengan penambahan katalis FeCl₃. Pada proses karbonisasi hidrotermal, limbah akar wangi akan terkonversi menjadi *hydrochar* pada kondisi air subkritik yang berperan sebagai katalis untuk mempercepat laju reaksi hidrolisis. KOH yang menjadi reagen aktivasi pada proses aktivasi kimia akan mendorong *hydrochar* untuk menghasilkan pori yang lebih banyak dengan ukuran mikropori. Grafitisasi dilakukan untuk memperbesar porositas pada karbon aktif menghasilkan pori dengan rentang mikropori dan mesopori. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur grafitisasi menggunakan katalis FeCl₃ terhadap karakteristik (morfologi permukaan, luas permukaan, dan struktur pori) dari karbon aktif yang dihasilkan. Variasi percobaan pada penelitian ini adalah grafitisasi pada suhu 800 °C, 900 °C, dan 1000 °C.

Penggunaan KOH sebagai *activating agent* ternyata dapat mendorong sampel karbon aktif yang dihasilkan memiliki luas permukaan yang besar. Dengan analisa BET, karbon aktif yang dihasilkan menggunakan metode 2 tahap karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia dengan KOH memiliki luas permukaan terbesar yaitu 1184,411 m²/g (Evelyn, 2021). Lalu dengan penambahan metode menjadi 3 tahap dimana hasil aktivasi kimia dengan KOH dilanjutkan dengan grafitisasi dapat meningkatkan nilai derajat grafitisasi, L_a, dan L_c. Dengan melakukan karakterisasi Raman Spektroskopi dan XRD, didapatkan nilai derajat grafitisasi, L_a, dan L_c secara berurutan sebesar 3,2850, 6,70 nm, dan 3,66 nm. Hasil tersebut didapatkan dari dekonvolusi kurva Raman Spektroskopi dan XRD pada *band* dan *peak* yang telah disesuaikan dengan literatur.

Kata Kunci: Karbon aktif, karbonisasi hidrotermal, aktivasi kimia, grafitisasi, KOH, FeCl₃

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian dan seminar ini dengan baik. Proposal Penelitian dan Seminar berjudul “Pengaruh Rasio Katalis FeCl_3 dan Temperatur Grafritisasi Terhadap Karakteristik Karbon Aktif dengan Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia” disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar Sarjana Teknik Kimia di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Dalam penyusunan proposal ini, penulis banyak menerima bimbingan, masukan, saran, kritik, arahan, dukungan dan bantuan informasi dari berbagai pihak mengenai topik penulisan proposal ini. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah turut berperan dan berpartisipasi dalam penyusunan proposal penelitian, terutama kepada:

1. Ratna Frida Susanti, Ph.D. dan Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, Ilmu pengetahuan, serta kritik dan saran selama proses penyusunan proposal penelitian ini.
2. Arents Andreas Arie, S.T., S.Si., M.Sc., Ph.D. dan Hans Kristianto, S.T., M.T. yang telah berkenan menjadi penguji proposal penelitian ini.
3. Orang tua dan keluarga penulis atas doa dan dukungan secara moril maupun materiil.
4. Teman-teman, serta semua pihak yang turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, sehingga akhirnya proposal penelitian ini dapat selesai tepat waktu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan proposal penelitian ini yang merupakan keterbatasan kemampuan dan wawasan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca sehingga dapat menjadi masukan untuk pembuatan proposal penelitian selanjutnya. Semoga proposal penelitian ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca dan membutuhkan.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
SURAT PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR REVISI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
INTISARI.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah	4
1.3 Identifikasi Masalah.....	4
1.4 Premis	4
1.5 Hipotesis	4
1.6 Tujuan Penelitian	5
1.7 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Akar Wangi.....	10
2.2 Karbon	11
2.2.1 Karbon Aktif.....	12
2.3 Baterai	13
2.3.1 Jenis-jenis Baterai Sekunder.....	14
2.4 Kapasitor	16
2.4.1 Kapasitor Konvensional	16

2.4.2	Superkapasitor	17
2.4.3	<i>Hybrid Capaitor</i>	19
2.5	Karbon Sebagai Material Elektroda LIC	21
2.6	Sintesis Karbon Aktif.....	21
2.6.1	Karbonisasi	22
2.6.2	Aktivasi.....	30
2.7	<i>Subcritic Water Condition</i>	35
2.8	Grafitisasi.....	35
2.9	Analisa Karbon Aktif.....	37
2.9.1	<i>Brunauer Emmett Teller (BET)</i>	37
2.9.2	<i>X-ray Diffraction (XRD)</i>	38
2.9.3	Raman Spektroskopi.....	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		41
3.1	Tahap Penelitian	41
3.2	Peralatan dan Alat yang Digunakan.....	41
3.3	Prosedur Penelitian	42
3.3.1	<i>Pre-treatment</i>	42
3.3.2	Sintesis Karbon Aktif	43
3.3.3	Grafitisasi	45
3.4	Variasi Percobaan	47
3.5	Lokasi dan Jadwal Penelitian.....	48
BAB IV PEMBAHASAN		50
4.1	<i>Hydrochar</i> Akar Wangi dengan Karbonisasi Hidrotermal	50
4.2	Sintesis Karbon Aktif dengan Aktivasi Kimia	52
4.3	<i>High Porous Activated Carbon (HPAC)</i> dengan Metode Grafitisasi.....	54

4.4 Hasil Karakterisasi	56
4.4.1 Brunauer-Emmett-Teller (BET)	56
4.4.2 Spektroskopi Raman	58
4.4.3 <i>X-ray Diffraction Spectrometer</i> (XRD).....	61
4.4.4 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	63
BAB V	65
KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN A <i>MATERIAL SAFETY DATA SHEET</i>	76
A.1 Potassium Hydroxide (KOH).....	76
A.2 Etanol (C ₂ H ₅ OH)	77
A.3 <i>Hydrochloric Acid</i> (HCL).....	78
A.4 <i>Iron (III) Chloride Anhydrous</i> (FeCl ₃).....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tanaman Akar Wangi (Seswita, 2016).....	10
Gambar 2. 2 Struktur Pori Karbon Aktif (Li, Zhang, dan Wang, 2015).....	13
Gambar 2. 3 Statistik Penggunaan Baterai Ion-Litium pada Berbagai Barang Elektronik (Wanger, 2011) (tahun)*: Masih dalam prediksi.....	14
Gambar 2. 4 Mekanisme Penggunaan Baterai Ion-Litium (Omar dkk., 2012).....	15
Gambar 2. 5 Mekanisme Penggunaan Baterai Ion-Sodium (Sawicki dan Shaw, 2015).....	16
Gambar 2. 6 Kapasitor Konvensional (Kim dkk., 2015)	17
Gambar 2. 7 Ilustrasi pada EDLC (Kim dkk., 2015).....	18
Gambar 2. 8 Ilustrasi Asymmetric supercapacitor elektroda MnO ₂ graphene/AC (Kim dkk., 2015).....	19
Gambar 2. 9 Mekanisme Pengisian Energi LIC (Wang dkk., 2019)	20
Gambar 2. 10 Ilustrasi Mekanisme Pembentukan 3D Porous Carbon (Guo et al., 2017)	21
Gambar 2. 11 Mekanisme Karbonisasi Secara Pirolisis dan Hidrotermal (Libra dkk., 2011)	24
Gambar 2. 12 Alur Reaksi Hidrolisis dan Reaksi Dehidrasi Selulosa dan Hemiselulosa pada Kondisi Hidrotermal (Reza dkk., 2014)	25
Gambar 2. 13 Diagram Van Krevelen pada Karbonisasi Hidrotermal (Reza dkk., 2014).....	26
Gambar 2. 14 Mekanisme Karbonisasi Hidrotermal pada Selulosa dan Hemiselulosa (Titirici, 2015).....	27
Gambar 2. 15 Mekanisme Karbonisasi Hidrotemal pada Lignin (Sevilla dan Fuertes, 2009)	27
Gambar 2. 16 Ilustrasi Prinsip Kerja XRD (Alfarisa dkk., 2018).....	39
Gambar 2. 17 Ilustrasi Raman Spektroskopi (Agarwal dan Atalla, 1995)	40
Gambar 3. 1 Diagram alir Pre-treatment Limbah Akar Wangi.....	43
Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Karbonisasi Hidrotermal	44
Gambar 3. 3 Diagram Alir Proses Aktivasi Kimia	46
Gambar 3. 4 Diagram Alir Proses Grafitisasi	47
Gambar 4. 1 Hydrochar Hasil Penelitian (H-225)	51
Gambar 4. 2 Karbon Aktif dengan Aktivator KOH (AC-800)	52
Gambar 4. 3 Karbon Aktif dengan Aktivator FeCl ₃ (AC-Fe-900)	54
Gambar 4. 4 Karbon Aktif dengan Aktivator KOH + FeCl ₃ (HPC-900).....	54

Gambar 4. 5 High Porous Activated CarbonI (HPAC).....	56
Gambar 4. 6 Hasil BET Karbon Aktif (a) Kurva Adsorpsi Isoterm (b) Pore Width dengan Metode BJH.....	57
Gambar 4. 7 Perbandingan Kurva Hasil Analisa Raman.....	60
Gambar 4. 8 (a) Kurva XRD Sampel Karbon Aktif dan (b) Dekonvolusi Broadened Peak 002	61
Gambar 4. 9 Morfologi Karbon Aktif dengan Perbesaran 1000x Sampel (a) HPAC-800, (b) HPAC-900, (c) HPAC-1000, (d) AC-800 Hasil Penelitian Evelyn (2021), (e) HPC-900, dan (f) AC-Fe-900	64

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Variasi Premis Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi dari Berbagai Bahan Baku ..6	6
Tabel 1. 2 Variasi Premis Grafitisasi	9
Tabel 2.1 Komposisi Kandungan Akar Wangi (Gaspard dkk., 2007)	11
Tabel 2. 2 Perbandingan Metode Pirolisis dan Karbonisasi Hidrotermal.....	23
Tabel 2. 3 Perbandingan Reagen Aktivasi Kimia terhadap Luas Area Produk Karbon Aktif (Ukanwa dkk., 2019; Xia dkk., 2016)	31
Tabel 3. 1 Variasi Percobaan	48
Tabel 3. 2 Jadwal Kerja Penelitian	49
Tabel 4. 1 Data Variasi Penelitian	50
Tabel 4. 2 Hasil Yield Karbon Aktif dengan Aktivasi Kimia.....	53
Tabel 4. 3 Persentase Yield Masing-masing variasi	55
Tabel 4. 4 Hasil Karakterisasi BET Karbon Aktif.....	58
Tabel 4. 5 Raman Bands and Vibration Modes (Sadezky dkk., 2005).....	58
Tabel 4. 6 Nilai Derajat Grafitisasi	59
Tabel 4. 7 Hasil Analisa XRD	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi minyak akar wangi akan menghasilkan limbah berupa limbah padat akar wangi. Tingginya komoditas minyak akar wangi yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan parfum membuka peluang bagi Indonesia untuk ikut bersaing dengan negara lain dalam memproduksi minyak akar wangi. Jumlah rata-rata ekspor minyak akar wangi Indonesia dapat mencapai 60 ton per tahun atau sekitar 25% komoditas dunia (Indrawanto, 2009). Tingginya kebutuhan serta nilai produksi minyak akar wangi membuat produksi limbah padat akar wangi juga semakin tinggi. Kota Garut sebagai produsen minyak akar wangi terbesar di Indonesia memproduksi 10 hingga 14 kg minyak akar wangi dari bahan baku 1,2-1,5 ton akar wangi (Mulyono, Sumangat, dan Hidayat, 2012).

Banyaknya limbah akar wangi yang tercipta dari produksi minyak akar wangi membuat banyak peneliti ingin mengolah kembali limbah tersebut menjadi hal yang dapat dimanfaatkan kembali. Contoh-contoh pemanfaatan limbah akar wangi yaitu produk kerajinan tangan, kertas anti mikroba, fitoremediasi limbah logam berat, dan dijadikan biomassa sebagai bahan baku energi terbarukan ataupun media penyimpanan energi. Limbah akar wangi dapat dikatakan sebagai biomassa karena tersusun atas komponen organik yang terdiri atas komponen *lignocellulosic* (Gaspard dkk., 2007). Biomassa dari limbah akar wangi tersebut dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku salah satu komponen media penyimpanan energi dengan mengubah bahan baku tersebut menjadi material karbon aktif yang kemudian akan digunakan sebagai komponen elektroda dari *lithium ion capacitor* (LIC). Hal ini dapat terjadi karena limbah akar wangi kaya akan unsur karbon yang terdapat pada komponen *lignocellulosic*.

Karbon aktif merupakan salah satu komponen yang cocok digunakan sebagai material elektroda LIC sebagai media penyimpanan energi. Hal ini didukung oleh kestabilan kimia karbon yang baik, porositasnya yang tinggi, serta konduktivitas elektrik yang bagus sehingga membuat karbon aktif cocok dijadikan elektroda pada LIC (Wang, Song, dan Xia, 2016). Tahapan umum proses pembentukan karbon aktif dari biomassa yaitu dengan melakukan tahap *pre-treatment* bahan baku biomassa, karbonisasi, dan aktivasi. Namun, pada penelitian ini

sampel karbon aktif yang telah didapatkan dari tahap aktivasi akan mendapatkan perlakuan grafitisasi untuk membuat kinerjanya sebagai elektroda pada LIC lebih baik. Tahap *pre-treatment* bahan baku pada biomassa yang dilakukan yaitu dengan cara mengeringkan biomassa menggunakan oven untuk mengurangi kadar air pada biomassa agar biomassa dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama. Selanjutnya tahap karbonisasi dapat dilakukan dengan dua metode yaitu pirolisis dan karbonisasi hidrotermal yang bertujuan mengubah biomassa menjadi produk *hydrochar*. Kemudian, *hydrochar* yang didapatkan akan diaktivasi untuk menghasilkan karbon aktif dimana pada proses ini luas permukaan karbon diperbesar agar kinerja karbon yang dihasilkan lebih efisien. Terakhir karbon aktif diberikan perlakuan temperatur atau grafitisasi yang bertujuan untuk membuka pori karbon aktif lebih besar sehingga proses adsorpsi/desorpsi ion lebih efisien dan membuat kinerja LIC lebih baik.

Pada penelitian ini, tahap karbonisasi pembentukan *hydrochar* dilakukan dengan proses karbonisasi hidrotermal. Hal ini dikarenakan proses karbonisasi hidrotermal dapat dioperasikan pada rentang suhu dibawah proses pirolisis dimana proses pirolisis beroperasi pada suhu 400-800 °C sedangkan karbonisasi hidrotermal dapat dilakukan pada suhu 180-350 °C (Apriyanti, 2010; Peterson dkk., 2008). Selain itu, karbonisasi hidrotermal merupakan proses yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pirolisis karena pada operasinya karbonisasi hidrotermal hanya membutuhkan air pada kondisi subkritik dan hanya menghasilkan emisi yang sangat sedikit jika dibandingkan dengan pirolisis (Kambo dan Dutta, 2015).

Proses aktivasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Pada penelitian ini aktivasi akan dilakukan dengan proses aktivasi kimia. Metode aktivasi kimia dipilih karena aktivasi kimia dapat dilakukan dengan suhu dibawah aktivasi fisika. Selain itu dengan perendaman *hydrochar* dalam *activating agent* pada aktivasi kimia menyebabkan tidak terbentuknya abu, berbeda dengan aktivasi fisika yang dapat membentuk abu karena hanya dilakukan perlakuan suhu. Lalu, pada aktivasi kimia digunakan *activating agent* KOH dikarenakan KOH dapat mendorong *hydrochar* untuk menghasilkan luas permukaan yang besar dengan ukuran mikropori dan struktur pori 3D yang cocok digunakan sebagai bahan elektroda LIC (Marsh dan Rodríguez-Reinoso, 2006).

Untuk meningkatkan kinerja karbon aktif sebagai elektroda pada LIC, karbon aktif diberikan perlakuan grafitisasi untuk memperbesar porositas dari karbon aktif serta dengan dilakukannya grafitisasi konduktivitas dari karbon aktif dapat bertambah. Grafitisasi adalah perlakuan temperatur yang akan menghilangkan beberapa unsur seperti O, S, dan H pada karbon aktif. Grafitisasi dibedakan menjadi dua yaitu perlakuan pada suhu tinggi dan grafitisasi katalitik. Grafitisasi pada suhu tinggi ($>2000\text{ }^{\circ}\text{C}$) dapat menghasilkan abu yang banyak serta menurunkan porositas dari karbon aktif bila dilakukan dengan suhu yang terlalu tinggi (Liu dkk., 2019). Maka dari itu penelitian ini akan menggunakan grafitisasi secara katalitik. Selain dapat menurunkan temperatur operasi menjadi $<1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, grafitisasi katalitik juga dapat membuat konduktivitas dari karbon aktif bertambah dikarenakan adanya unsur logam yang memberikan *defect* pada struktur karbon aktif dan akan menghasilkan struktur grafit (Liu dkk., 2019). Penelitian ini cukup berbeda jika dibandingkan dengan penelitian lain karena grafitisasi dilakukan pasca aktivasi untuk melakukan sintesis karbon aktif dimana hal ini biasanya dilakukan untuk memodifikasi karbon aktif *industrial grade* yang sudah ada untuk memenuhi kebutuhan dari perorangan ataupun perusahaan tertentu.

Tingginya kebutuhan energi di dunia, mendorong diperlukannya media penyimpanan energi yang mampu menampung dan menghantarkan energi tersebut secara efisien. Selain itu, media penyimpanan energi tersebut harus memiliki *power density* dan *energy density* yang tinggi serta *life cycle* yang panjang agar dapat bekerja dengan baik. Hal ini cocok dengan karakteristik dari *lithium-ion capacitor* (LIC) (Wang, Liu, dan Niu, 2019). Salah satu material yang dapat digunakan pada LIC sebagai elektroda adalah karbon aktif dengan spesifikasi luas permukaan $>2000\text{ m}^2/\text{g}$, ukuran pori 1,5-3 nm, dan struktur pori 3D. Selain itu, pemanfaatan limbah padat akar wangi untuk dijadikan karbon aktif dapat membantu penanganan terkait isu lingkungan yang disebabkan oleh limbah padat akar wangi karena dengan pemanfaatannya untuk dijadikan karbon aktif, jumlah limbah akar wangi yang ada dapat tereduksi. Hal ini tentu dapat memberikan peluang dan potensi yang besar bagi Indonesia untuk dapat ikut aktif dalam penyelesaian kebutuhan energi dunia sekaligus mengurangi isu lingkungan terkait limbah akar wangi khususnya pada Kota Garut. Maka dari itu pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif sebagai material elektroda pada LIC dengan bahan baku limbah padat akar wangi dengan

tujuan memenuhi kebutuhan komponen elektroda dari LIC serta mengurangi permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh limbah akar wangi.

1.2 Tema Sentral Masalah

Tingginya produksi limbah akar wangi mendorong adanya pemanfaatan limbah tersebut untuk mengurangi dampak lingkungan yang disebabkan oleh limbah akar wangi. Salah satu contoh pemanfaatan limbah akar wangi yaitu dijadikan bahan baku pembuatan karbon aktif dengan metode karbonisasi hidrotermal, aktivasi kimia, dan grafitisasi dengan menggunakan KOH sebagai *activating agent* pada aktivasi kimia dan FeCl_3 sebagai katalis pada grafitisasi. Temperatur grafitisasi sangat mempengaruhi ukuran pori dan porositas dari karbon aktif pada penelitian ini. Respon yang diamati berupa perubahan *surface area*, lebar dan tinggi kisi, serta derajat grafitisasi dari produk karbon aktif yang dihasilkan.

1.3 Identifikasi Masalah

Berdasarkan tema sentral masalah yang ada, diidentifikasi beberapa masalah yang akan dikaji pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh grafitisasi terhadap karakteristik (derajat grafitisasi, tinggi dan lebar lapisan kisi, morfologi, luas area permukaan, dan distribusi pori) dari karbon aktif?
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur grafitisasi terhadap karakteristik (derajat grafitisasi, tinggi dan lebar lapisan kisi, morfologi, luas area permukaan, dan distribusi pori) dari karbon aktif yang dihasilkan?

1.4 Premis

Penelitian ini dilakukan berdasarkan kajian pustaka dan beberapa penelitian yang sudah berlangsung. Premis-premis penelitian terkait ditampilkan pada Tabel 1.1.

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang dapat disusun berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Grafitisasi dapat mempengaruhi derajat grafitisasi dari karbon aktif. Semakin tinggi temperatur grafitisasi yang dilakukan artinya semakin tinggi pula derajat grafitisasi yang

akan diperoleh karbon aktif tersebut. Selain itu, semakin tingginya derajat grafitisasi maka semakin banyak *defect* yang diberikan pada karbon aktif.

2. Variasi temperatur grafitisasi mempengaruhi derajat grafitisasi dan diameter pori dari karbon aktif yang terbentuk. Semakin tinggi temperatur grafitisasi, derajat grafitisasi dan diameter pori dari karbon aktif akan semakin besar, namun luas permukaan dari karbon aktif dapat menurun seiring meningkatnya diameter pori.

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses pembuatan karbon aktif dengan menggunakan metode karbonisasi hidrotermal, aktivasi kimia dengan reagen aktivasi KOH, dan grafitisasi katalitik dengan katalis FeCl_3 .
2. Mempelajari pengaruh variasi temperatur grafitisasi terhadap *yield* dan karakteristik dari karbon aktif (morfologi permukaan, luas permukaan, dan struktur pori) yang dihasilkan.
3. Mempelajari karakteristik serta sifat karbon aktif yang dihasilkan dengan dan tanpa proses grafitisasi.

1.7 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, seperti:

1. Bagi peneliti, mengetahui pengaruh temperatur dan perlakuan grafitisasi terhadap *yield* dan karakteristik dari karbon aktif (morfologi permukaan, luas permukaan, dan struktur pori) yang dihasilkan.
2. Bagi industri, memberikan informasi tentang pembuatan karbon aktif dari limbah akar wangi sehingga dapat dikembangkan lagi dan informasi seleksi proses produksi karbon aktif untuk mendapatkan proses produksi karbon aktif yang terbaik.
3. Bagi lingkungan dan masyarakat, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan wawasan sehingga mampu meningkatkan pemanfaatan limbah akar wangi. Selai itu, metode ini diharapkan menjadi salah satu metode yang efektif, efisien, serta membantu mengatasi permasalahan lingkungan yang dikarenakan limbah akar wangi.

Tabel 1. 1 Variasi Premis Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi dari Berbagai Bahan Baku

Peneliti	Bahan Baku	Karbonisasi Hidrotermal				Aktivasi				Hasil Percobaan Terbaik
		Katalis		Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Aktivator	Rasio <i>hydrochar</i> /Aktivator (b/b)	Temperatur (°C)	Waktu (jam)	
		Jenis	Rasio Katalis/BB (b/b)							
(Yan et al., 2018)	Limbah Batang Lotus	Urea	3:1	500	2	KOH	1:2	600	2	- Suhu Aktivasi 800°C menghasilkan S_{BET} 2221 m ² /g
								700		
								800		
								900		
(Zhang et al., 2020)	Sekam Padi	-	-	180	1	ZnCl ₂ dan FeCl ₂	1:5, 3:5, 1:1, 7:5, 9:5	500, 600, 700, 800	1	- Rasio aktivator 1:1 dengan temperatur 600 menghasilkan S_{BET} 1344,67 (m ² /g)

Tabel 1.1 Variasi Premis Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi dari Berbagai Bahan Baku (lanjutan)

Peneliti	Bahan Baku	Karbonisasi Hidrotermal				Aktivasi				Hasil Percobaan Terbaik
		Katalis		Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Aktivator	Rasio <i>hydrochar</i> /Aktivator (b/b)	Temperatur (°C)	Waktu (jam)	
		Jenis	Rasio Katalis/BB (b/b)							
(Altenor et al., 2009)	Akar Wangi	-	-	105	48	H ₃ PO ₄	0,5:1, 1:1, 1,5:1	600	1	- Rasio aktivator 1:1 menghasilkan SBET 1272 (m ² /g)
(Diaz et al., 2019)	Biji Anggur	-	-	180	16	KOH	1:2, 1:3, 1:4	750	1	- Pada suhu HTC 200 °C menghasilkan perolehan <i>hydrochar</i> terbanyak sebesar 77% <i>yield</i> . - Rasio Aktivator 3:1 menghasilkan SBET 2194 m ² /g
				200						
				220						
				240						
				260						
				280						
				300						

Tabel 1.1 Variasi Premis Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi dari Berbagai Bahan Baku (lanjutan)

Peneliti	Bahan Baku	Karbonisasi Hidrotermal				Aktivasi				Hasil Percobaan Terbaik
		Katalis		Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Aktivator	Rasio <i>hydrochar</i> /Aktivator (b/b)	Temperatur (°C)	Waktu (jam)	
		Jenis	Rasio Katalis/BB (b/b)							
(Susanti et al., 2018)	Kulit Salak	-	-	200	4, 5, 6	KOH	1:4	225	5	- Variasi HTC 225 °C 5 jam menghasilkan <i>hydrochar</i> sebesar 48,23% <i>yield</i> dan kapasitas <i>hydrochar</i> untuk superkapasitor yaitu 75,44 F/g
				225						
				250						
(Xiao et al., 2019)	Kulit Jeruk	Urea	1:10	210	2	KOH	1:2	600	2	- Temperatur 800 °C mendapatkan hasil S_{BET} 3053 m ² /g dengan S_{micro} 2226 m ² /g dan S_{meso} 827 m ² /g
								700		
								800		

Tabel 1. 2 Variasi Premis Grafitisasi

Peneliti	Bahan Baku	Grafitisasi						Hasil Percobaan Terbaik
		Pasca Aktivasi	Bersamaan dengan Aktivasi	Katalis	Rasio Katalis/Karbon aktif (b/b)	Temperatur (°C)	Waktu (jam)	
(Lazzarini et al., 2016)	Karbon Aktif Komersial	v	-	-	-	350, 750	0,5	- Dengan grafitisasi pada temperatur 750 °C, didapatkan nilai I(D)/I(G) 1,88±0,10
(Liu et al., 2019)	Lignin	v	-	FeCl ₃	0,1:1; 0,2:1; 0,3:1	900	5	- Pada perbandingan rasio katalis/karbon aktif 2:1 menghasilkan S _{BET} terbesar yaitu 1852,43 m ² /g, menghasilkan mikropori yang paling banyak, dan kapasitas terbesar bernilai 224 F/g
(Gong et al., 2017)	Bambu	-	v	K ₂ FeO ₄	1,782:1	800	2	- Didapatkan grafit dengan S _{BET} 1732 m ² /g dengan kapasitas sebesar 171,4 F/g
(Hou et al., 2019)	Biji Lotus Hitam	-	v	K ₂ FeO ₄	0:1	800	2	- Pada perbandingan rasio katalis/karbon aktif 2:1 menghasilkan S _{BET} terbesar yaitu 2010,097 m ² /g dan kapasitas bernilai 333 F/g
					1:1	800		
					2:1	700		
						800		
					3:1	900		
	800							
(Shi et al., 2017)	Karbon Aktif Komersial dari Batok Kelapa	v	-	FeCl ₃	0,3:2	1000	2	- Grafit menunjukkan konduktivitas yang lebih baik dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Selain itu, <i>electron transport rate</i> grafit juga lebih cepat jika dibandingkan dengan karbon aktif komersial tersebut.