

LAPORAN PENELITIAN
TAHUN ANGGARAN 2021

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI *REDUCE GRAPHENE OXIDE* (rGO)
DARI LIMBAH BULU AYAM SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI
ELEKTROKIMIA MENGGUNAKAN METODE *CHEMICAL EXFOLIATION***

Oleh:

Erna Hastuti (NIP. 19811119 200801 2 009)
Muthmainnah (NIP. 19860325 201903 2 009)



KEMENTERIAN AGAMA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
(LP2M)
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2021

ABSTRAK

Bulu ayam merupakan salah satu biomasa yang memiliki kandungan protein tinggi sehingga berpotensi untuk dijadikan material karbon. Pada penelitian ini bulu ayam dimanfaatkan untuk pembuatan material *reduced Graphene Oxide* (rGO) dengan metode *Chemical exfoliation*, menggunakan larutan aquades, HCl dan H₂SO₄ (0.5, 1, 1.5 dan 2 M). Bulu ayam dipanaskan dalam dua tahap yaitu temperatur 250°C dan pemanasan pada temperatur 400°C. Proses eksfoliasi dilakukan dengan menggunakan *ultrasonic cleaner*. Hasil XRD menunjukkan bahwa sampel memiliki fasa karbon jenis rGO. Variasi konsentrasi HCl dan H₂SO₄ pada proses eksfoliasi menurunkan ukuran kristal hingga 17 dan 13 Å pada konsentrasi HCl dan H₂SO₄ 2 M. Energi gap tertinggi dimiliki oleh sampel dengan penambahan H₂SO₄ 1,5 M yaitu 5,47 eV. Konduktivitas tertinggi dimiliki sampel karbon yang dieksfoliasi dalam larutan H₂SO₄ 1,5 M sebesar $1,84 \times 10^{-4}$ S/m. Penambahan konsentrasi H₂SO₄ 2 M memiliki kapasitansi tertinggi mencapai $9,67 \times 10^{-7}$ F/m²

Kata kunci : biomasa, bulu ayam, eksfoliasi kimia, rGO

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmad dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melakukan penelitian dasar interdisipliner yang berjudul Sintesis dan Karakterisasi Reduce Graphene Oxide (rGO) dari Limbah Bulu Ayam sebagai Penyimpan Energi Elektrokimia menggunakan Metode Chemical Exfoliation.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan support secara financial demi kelancaran pelaksanaan penelitian ini. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan tersebut sangat sulit bagi penulis untuk dapat menyelenggarakan dan menyelesaikan kegiatan penelitian ini.

Penulis telah berusaha untuk menyempurnakan tulisan ini, namun sebagai manusia penulis pun menyadari akan keterbatasan maupun kekhilafan dan kesalahan yang tanpa disadari. Oleh karena itu, saran dan kritik untuk perbaikan laporan ini akan sangat dinantikan.

Malang, Nopember 2021

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara pengonsumsi daging ayam dengan jumlah produksi yang cenderung meningkat setiap tahunnya. Meningkatnya konsumsi daging ayam akan berdampak pada limbah bulu yang dihasilkan. Berbagai upaya dilakukan untuk mengolah limbah bulu ayam, sehingga memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan mengurangi polusi. Salah satunya adalah sebagai penyimpan energi. Bulu ayam memiliki kandungan 91% protein (keratin), 1% lemak, dan 8% air (Misra et al, 2004). Keratin memiliki struktur heliks yang mengandung atom karbon (C), ikatan sulfida dan ikatan hidrogen, dan memiliki pori-pori internal yang banyak. Sehingga keratin dapat digunakan sebagai elektroda dan diharapkan memiliki kemampuan menyimpan muatan yang lebih baik dibandingkan karbon.

Senoz dan Wool (2011) memanfaatkan bulu ayam sebagai penyimpan energi hydrogen. Wang et al, (2013) membuat karbon dari bulu ayam untuk aplikasi elektroda superkapasitor dengan proses aktivasi menggunakan KOH. Gonzalez et al, (2013) menggunakan keratin dari bulu ayam untuk membantuk lembaran Graphene Oxide (GO) dengan menggunakan metode eksfoliasi.

Graphene merupakan material yang banyak dikembangkan oleh berbagai peneliti karena memiliki sifat yang baik dalam menghantarkan listrik, konduktivitas termal, sifat mekanik dan luas permukaan yang tinggi. Graphene memiliki kesamaan dengan graphene oksida (GO) dan reduksi graphene oksida (rGO). GO berasal dari graphen yang mengikat oksigen dan rGO merupakan graphene yang oksigen dan hidrogennya telah direduksi melalui proses oksidasi.

Beberapa metode telah dilakukan untuk membuat rGO. Sintesis dilakukan dengan mencampur bubuk grafit dengan pelarut asam seperti H_2SO_4 , H_3PO_4 , *methanesulfonic* (M_3SO_3H), *ethanesulfonic* ($EtSO_3H$), *1-propanesulfonic* ($n-PrSO_3H$), *ordichloroacetic* (Cl_2CHOOH), lalu dipanaskan dan dikeringkan untuk membentuk bubuk kembali (Kovtyukhova, 2014).

Pada penelitian ini, bulu ayam akan dipanaskan pada dua tahap. Pertama, bulu ayam dipanaskan pada temperatur 250 °C selama 2 jam, kemudian dipanaskan

lagi pada temperatur 400 °C untuk membentuk grafen oksida (GO). Pembuatan rGO menggunakan metode chemical exfoliation dengan variasi pelarut HCl dan H₂SO₄. Harapannya, akan didapatkan metode dan pelarut yang tepat untuk rGO, yang memiliki sifat fisis, kapasitansi dan konduktivitas listrik yang baik.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan H₂SO₄ dan HCl pada struktur dan morfologi GO (graphene oxide) dan rGO (reduced graphene oxide) dari karbon bulu ayam menggunakan metode eksfoliasi kimia
2. Bagaimana pengaruh penambahan H₂SO₄ dan HCl pada energi gap dan sifat listrik GO (graphene oxide) dan rGO (reduced graphene oxide) dari karbon bulu ayam menggunakan metode eksfoliasi kimia

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh penambahan H₂SO₄ dan HCl pada struktur dan morfologi GO (graphene oxide) dan rGO (reduced graphene oxide) dari karbon bulu ayam menggunakan metode eksfoliasi kimia
2. Mengetahui pengaruh penambahan H₂SO₄ dan HCl pada energi gap dan sifat listrik GO (graphene oxide) dan rGO (reduced graphene oxide) dari karbon bulu ayam menggunakan metode eksfoliasi kimia

1.4. Batasan Permasalahan

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Keratin yang digunakan berasal dari bulu ayam
2. Proses eksfoliasi kimia menggunakan H₂SO₄ dan HCl
3. Proses pemanasan dilakukan pada temperatur 400 °C

1.5. Penelitian Terdahulu

Cara lain untuk menghasilkan graphene dengan relatif mudah, yaitu exfoliasi kimia grafit oksida. Metode ini menghasilkan sintesis graphene oxide (GO), yaitu

graphene yang sangat teroksidasi. Tahap berikutnya, mengurangi kandungan oksigen sehingga menghasilkan reduced graphene oxide (rGO) atau graphene yang dikonversi secara kimiawi (CCG) (Li, et al, 2019).

Metode eksfoliasi kimia menggunakan ultrasonik pada larutan dan tahap interkalasi. Pada metode ini, penggunaan ultrasonik ditambah dengan larutan surfaktan cair sebagai pelarut *graphite*. Penggunaan ultrasonik dipengaruhi oleh pemilihan pelarut dan surfaktan yang diiringi dengan frekuensi, amplitudo dan waktu sonikasi (Wisnuwijaya, 2017). Islamiyah dkk, (2017) mensintesis rGO dari tempurung kelapa dengan memodifikasi metode mechanical exfoliation. Metode mechanical exfoliation dilakukan dengan penambahan asam HCl dan H₂SO₄. Putra dkk, (2017) mensintesis elektroda Fe³⁺/glukosa/rGO dengan metode chemical exfoliation dari tempurung kelapa. Penambahan HCl dan rGO dengan rasio 1:1 dapat meningkatkan kapasitansi sebesar 20 F/g dan densitas energi 0,282 Watt/g.

Berbagai bahan juga digunakan untuk mensintesis graphene telah diteliti sehingga menghasilkan berbagai bahan nano berbasis graphene, seperti graphene oxide (GO) dan reduced graphene oxide (rGO). Salah satunya adalah pemanfaatan limbah bulu ayam yang mengandung keratin. Keratin bulu ayam adalah biopolimer alami dan produk sampingan dari industri, yang monomernya memiliki struktur kimia dengan berbagai jenis kelompok fungsional polar dan non-polar, cocok untuk reaksi kimia atau interaksi dengan molekul dan bahan lain, dan memiliki sifat adhesi yang baik di tingkat molekul dengan bahan karbon (Jimenez, et al, 2014). Gonzales, et al (2012) menggunakan keratin GO sebagai penguat dalam nanokomposit. Cataldi, et al (2019) membuat nanokomposit keratin dari wool dan graphene untuk kapasitor dan resistor.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian ini, dibagi dalam beberapa bab dan sub bab seperti dijelaskan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, signifikansi, penelitian terdahulu dan sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Menjelaskan tentang teori penunjang yang berhubungan dengan karbon dan turunannya, proses eksfoliasi, XRD, FTIR, SEM dan uji listrik.

BAB III METODE PENELITIAN

Membahas tentang metode penelitian yang digunakan dalam penelitian. Diantaranya adalah prosedur perancangan, eksfoliasi kimia, pengujian bahan, dan analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan hasil penelitian dan pembahasan dari permasalahan pokok penelitian yang meliputi, pembuatan GO dan proses eksfoliasinya, serta hasil uji XRD, FTIR, SEM dan uji listrik.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran–saran dari penulis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

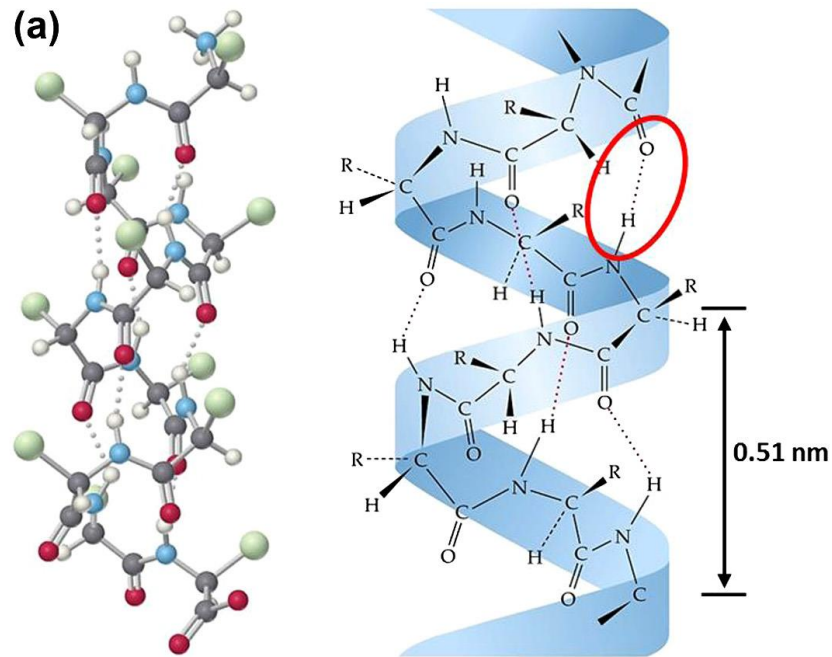
2.1 Biomassa

Biomasa merupakan bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan hewan. Biomasa dari tumbuhan dapat berupa limbah pertanian, kayu, limbah dari kulit buah-buahan dan lain sebagainya. Sumber biomasa dari hewan, didapatkan dari kulit, tanduk, tulang, rambut dan bulu.

Bulu merupakan ciri khas burung dari vertebrata lainnya dan memiliki peranan penting dalam proses fisiologis dan fungsional. Sebagian besar burung seluruh tubuhnya ditutupi dengan bulu kecuali pada paruh, mata, dan kaki. Bulu tidak hanya memberikan kemampuan terbang, tetapi juga berperan dalam mengatur suhu tubuh. Bulu tersusun teratur, strukturnya bercabang hierarkis, dan termasuk struktur keratin paling kompleks yang ditemukan pada vertebrata (Yu, 2002).

Bulu ayam mengandung sekitar 91% protein (keratin), 1% lemak, dan 8% air. Urutan asam amino yang utama terdiri dari sistein, glutamin, prolin dan serin seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Keratin adalah protein yang tidak larut hadir dalam rachis, bulu, kuku, sisik, rambut, kuku (keratin keras). Protein yang termasuk dalam kelompok *scleroprotein* ini, secara intensif sangat kebal terhadap aktivitas fisik, kimia, dan biologis. Stabilitas mekanik dan resistensi yang tinggi terhadap degradasi proteolitik keratin disebabkan adanya ikatan disulfida, ikatan hidrogen, ikatan garam dan ikatan silang (Misra et al, 2004).

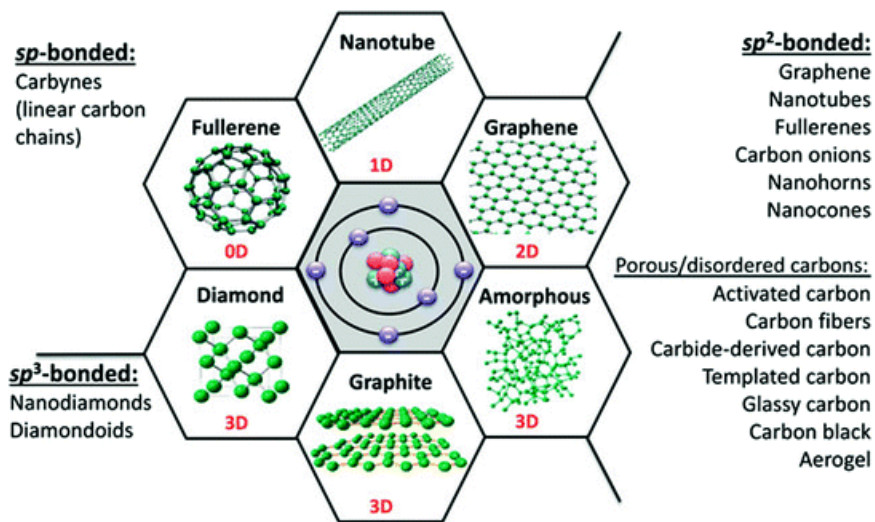
Bulu ayam terdiri atas α -heliks dan beberapa konformasi- β . *Rachis* bagian luar hampir seluruhnya terdiri dari konformasi- β dan sedikit konformasi α -heliks. Keratin- β memiliki kandungan sistein yang lebih tinggi daripada keratin α -heliks lunak dan dengan demikian kehadiran ikatan disulfida (S-S) yang jauh lebih besar menghubungkan protein keratin yang berdekatan. Adanya ikatan kovalen yang kuat dapat menstabilkan struktur protein tiga dimensi dan sangat sulit untuk putus (Saravanan dan Dhurai, 2012). Bulu mengandung ~ 91% protein keratin, dan dengan demikian, bulu dapat dimanfaatkan menjadi senyawa yang bernilai tinggi atau produk yang terdiri dari protein keratin dan serat keratin.



Gambar 2.1 Struktur α Heliks Keratin (Wang, 2016)

2.2 Karbon

Karbon adalah elemen dasar dari semua bahan organik, salah satu elemen paling melimpah di bumi dan juga satu-satunya elemen dari tabel periodik yang memiliki bentuk alotropik dari 0 dimensi hingga 3 dimensi karena kemampuan hibridisasinya yang berbeda-beda. Karbon memiliki kemampuan unik untuk membentuk alotrop, yang dapat dijelaskan dengan hibridisasi ikatan valensi, sp^n . Bentuk-bentuk yang terkenal adalah berlian, memiliki $n = 3$, dan grafit memiliki $n = 2$. Hibridisasi ikatan valensi menentukan sifat fisik dan kimia dari alotrop karbon. Fullerenes (nol-dimensi), nanotube karbon (satu-dimensi) dan graphene (lapisan tunggal grafit, dua dimensi) semuanya terbuat dari atom karbon hibridisasi sp^2 , sedangkan berlian (tiga dimensi) adalah hibridisasi sp^3 (Talat and Srivasta, 2014).



Gambar 2.2 Karbon dan turunannya (Gagotsi, 2016)

Fullerene, bentuk karbon ketiga, ditemukan pada tahun 1985 oleh Kroto, dan carbon nanotube (CNTs) ditemukan pada tahun 1991 oleh Iijima. Setelah itu, karbon menjadi sangat penting dalam bidang sains dan teknologi. Dengan demikian, tiga-dimensi (3D) (berlian dan grafit), satu-dimensi (1D; CNT), dan alotrop karbon nol-dimensi (0D; fullerene) yang banyak dikenal dalam komunitas karbon. Meskipun pada tahun 1991 telah diketahui bahwa CNT dapat dibentuk dengan menggulung lembaran graphene dua dimensi (2D), dengan satu lapisan dari kristal grafit 3D, isolasi graphene cukup sulit dipahami. Graphene adalah elemen struktural dasar dari beberapa alotrop karbon, termasuk grafit, CNT, dan fullerene. Fullerene seluruhnya terdiri dari karbon dalam bentuk bola yang disebut *bucky balls*. Sedangkan CNTs memiliki susunan tubular. Selama lebih dari dua dekade, bahan-bahan berbasis fullerene dan CNT banyak diterapkan dalam berbagai bidang penelitian seperti elektronik, baterai, kapasitor super, sel bahan bakar, sensor elektrokimia, biosensor, dan aplikasi obat. (Ray, 2015).

2.3 Graphene Oxide (GO) dan reduced Graphene Oxide (rGO)

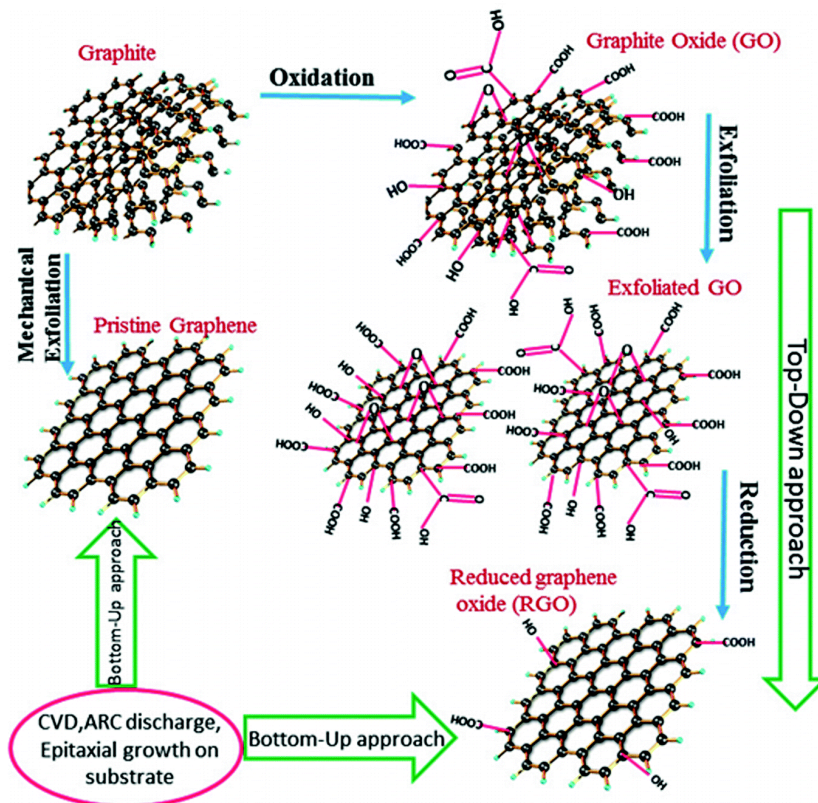
Karbon adalah salah satu unsur alam yang paling menarik dan merupakan salah satu unsur utama pembentukan semua bahan organik. Kapasitasnya untuk mengikat dirinya sendiri dengan cara yang berbeda menjadikan karbon elemen yang sangat serbaguna, sehingga memunculkan serangkaian struktur yang disebut alotrop.

Beberapa bentuk karbon ini telah menarik minat besar dalam beberapa dekade terakhir karena ukurannya yang kecil, dalam skala nanometer, dan bentuk atau dimensi mereka yang sangat khusus, yang secara langsung mempengaruhi sifat kimia dan fisiknya. Di antara struktur nano karbon ini, graphene (GE) telah menjadi material yang luar biasa yang menghadirkan serangkaian sifat "superlatif" yang unik seperti karakteristik mekanik, listrik, termal dan elektronik.

Sejak ditemukan pada tahun 2004, graphene dan turunannya telah menjadi salah satu bahan nano karbon paling menarik saat ini. Graphene adalah lembaran datar tunggal atom karbon sp^2 yang kisinya berbentuk sarang lebah 2D. Meskipun graphene memiliki sifat yang unik, karakteristik ini hanya dapat diamati pada lapisan tunggal yang ideal yang mahal untuk diproduksi dan sulit diukur.

Graphene adalah nama lapisan tunggal atom karbon yang tersusun dalam kisi heksagonal kristalin dua dimensi (2D), karena hibridisasi karbon sp^2 . Graphene memiliki ikatan σ yang kuat di dalam bidang, dan berpengaruh pada kekuatan dan fleksibilitas mekaniknya yang tinggi. Graphene juga memiliki ikatan lemah π di luar bidang, yang berpengaruh pada sifat termal, muatan listrik, transparansi, dan graphene juga tidak tembus cahaya (Jimenez, 2016).

Graphene oxide adalah bentuk graphene yang sangat teroksidasi dan umumnya diproduksi oleh oksidasi kimia dan pengelupasan grafit. Fungsi oksigen yang terkandung oleh GO didistribusikan secara acak pada lembaran dan terutama diidentifikasi sebagai gugus hidroksil, gugus epoksi dan gugus karboksil. Kehadiran gugus ini menimbulkan serangkaian cacat struktural dengan hilangnya beberapa sifat graphen. GO dapat dikelupas menggunakan proses sonikasi untuk membentuk suspensi koloid dari lapisan monolayer, lapisan dua lapis atau beberapa lapisan GO dalam pelarut yang berbeda. Yang berpengaruh dalam preparasi GO adalah pemilihan bahan pengoksidasi yang sesuai untuk mengoksidasi graphite (Li dkk, 2014).



Gambar 2.3. Skema perubahan graphite menjadi reduce graphene oxide (Khan, 2015)

Keseimbangan energi untuk sistem graphene dan pelarut ini dapat dinyatakan sebagai entalpi pencampuran per unit volume, yaitu:

$$\frac{\Delta H_{mix}}{V_{mix}} \approx \frac{2}{T_{flake}} (\delta_G - \delta_{sol})^2 \phi$$

dimana T_{flake} adalah ketebalan serpihan graphene, ϕ adalah fraksi volume graphene, dan δ_i adalah akar kuadrat dari energi permukaan fase i (i menunjukkan graphene atau pelarut) yang didefinisikan sebagai energi per satuan luas yang diperlukan untuk mengatasi gaya van der Waals ketika eksfoliasi dua lembar terpisah.

Ketika energi permukaan graphene dan pelarut dekat, entalpi pencampuran akan lebih kecil dan eksfoliasi (pengelupasan) terjadi lebih mudah. Oleh karena itu, energi permukaan pelarut sangat penting untuk pengelupasan. Dengan menggunakan berbagai pelarut yang memiliki energi permukaan yang berbeda dan mengukur konsentrasi yang sesuai dari dispersi graphene yang dihasilkan, energi permukaan pelarut yang optimal dapat diperkirakan secara kasar (Yi dan Shen, 2015).

2.4 Metode Exfoliasi Kimia

Metode dalam pembuatan material grafit dan turunannya telah banyak dikembangkan. Setelah metode plester yang dilakukan oleh Geim dan Novoselov (2004) telah banyak metode lain yang berhasil dilakukan, diantara: *Mechanical exfoliation (ME)*, *Chemical exfoliation (CE)*, *Reduction graphene oxide (RGO)*, *Chemical vapor deposition (CVD)*, *Liquid phase Exfoliation (LPE)*.

Metode Mechanical Exfoliation (ME) dikenal juga sebagai “metode plester”. Metode ini dianggap mudah karena dilakukan hanya dengan mengelupas lapisan *graphite* menggunakan gaya adesi pada plester. Jumlah lapisan *graphene* yang terbentuk dapat diperkecil dengan menambah pengulangan pada pengelupasan plester. Lapisan *graphite* yang tertinggal pada plester masih mengandung beberapa lapisan kristal *graphene* dan sangat sulit serta memakan banyak waktu untuk memisahkan lapisan *graphene* menjadi lapis tunggal. Namun metode ini dipandang cocok untuk mengetahui sifat fisis *graphene* karena mudah, murah dan menghasilkan lembaran *graphene* dengan kualitas tinggi (Wisnuwijaya, 2017).

Metode Chemical Exfoliation (CE) menggunakan suara ultrasonik pada larutan dan tahap interkalasi. Pada metode ini penggunaan suara ultrasonik dibantu juga dengan larutan air-surfaktan sebagai pelarut *graphite*. Metode CE telah dikenal luas karena metode ini memungkinkan dilakukan tanpa zat tambahan dalam pelarut organik yang mempunyai afinitas tinggi untuk *graphite* dimana ultrasonik digunakan untuk memberikan energi pada pembelahan lapisan *graphene*. Keberhasilan penggunaan ultrasonik dipengaruhi oleh pemilihan pelarut dan surfaktan yang diiringi dengan frekuensi, amplitudo dan waktu sonikasi (Wisnuwijaya, 2017).

2.5 Sonikasi/Ultrasonikasi

Sonikasi/Ultrasonikasi merupakan metode sintesis grafena untuk proses eksfoliasi atau pengelupasan lembaran grafena dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik. Sonikasi menjadi alternatif untuk membuat *graphene* dengan kualitas tinggi, tetapi pada umumnya pembuatan *graphene* adalah sebuah langkah mudah. Untuk memberikan sebuah contoh: *graphite* ditambahkan kedalam campuran asam organik yang ditambahkan air, alkohol dan air, lalu campuran akan dikenai gelombang ultrasonik. Asam bekerja sebagai “*molecular wedge*” yang akan

memisahkan lembaran *graphene* dari induknya *graphite*. Dengan proses mudah ini, *graphene* kualitas tinggi yang terdispersi dalam air tercipta. (An., dkk, 2010).

Penggunaan gelombang ultrasonik berdasarkan rentangnya yang luas ini dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah suara beramplitudo rendah (frekuensi lebih tinggi). Gelombang beramplitudo rendah ini secara umum digunakan untuk analisis pengukuran kecepatan dan koefisien penyerapan gelombang pada rentang 2 hingga 10 KHz. Bagian kedua adalah gelombang berenergi tinggi dan terletak pada frekuensi 20 hingga 100 KHz. Gelombang ini dapat digunakan untuk pembersihan, pembentukan plastik, dan modifikasi bahan-bahan organik maupun anorganik (Wisnuwijaya, 2017).

Ultrasonik dengan frekuensi 20-100 kHz diketahui mempunyai efek signifikan dalam mempercepat berbagai proses kimia dan fisika. Efek penggunaan ultrasonik dalam proses pembersihan (*cleaning*), ekstraksi atau pemurnian suatu senyawa adalah waktu proses lebih singkat dan peningkatan kualitas produk (Chemat., dkk, 2011). Gelombang ultrasonik kekuatan tinggi diketahui mampu merusak atau mengikis dinding sel atau permukaan bahan padat (John, 2002). Pada reaktor ultrasonik, gelombang ultrasonik digunakan untuk menimbulkan efek kavitasi akustik yaitu pembentukan, pertumbuhan dan pecahnya gelembung dalam medium cairan. Ketika gelembung kavitasi pecah di dekat atau pada permukaan padat maka permukaan padat akan memberikan resistensi terhadap aliran cairan. Hal ini menyebabkan cairan mikrojet mengarah ke permukaan padat dengan kecepatan mendekati 400 km/h (Suslick, 1995). Dampak dari mikrojet ini sangat kuat, antara lain dapat mengupas (*peeling*) permukaan, mengikis atau memecah dinding sel (Vilkhu, 2008).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan dan Alat

Bahan – bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah bulu ayam, HCl, H₂SO₄, PVDF, Aquades, DMSO, NaOH

Sedangkan peralatan yang digunakan meliputi Beaker glass, Gelas ukur, *Magnetik stirrer*, ultrasonic cleaner, oven, furnace, Ayakan, XRD (X-Ray Diffraction), UV-Vis, FTIR (Fourier Transformation Infra Red), SEM, RCL meter

3.2 Pembuatan Bahan

1. Langkah awal dari penelitian ini adalah proses pembuatan karbon dari bulu ayam. Bulu ayam dicuci, dan dibakar pada temperatur 250 °C selama 2 jam.
2. Kemudian arang bulu ayam dihaluskan menggunakan mortar dan diayak dengan ukuran 250 mesh.
3. Tahap berikutnya adalah heat treatment, untuk mengoksidasi sampel. Serbuk arang dipanaskan kembali dalam furnace dengan temperatur 400 °C selama 5 jam dengan udara terbuka.
4. Serbuk karbon dimasukkan kedalam beaker glass dan diberi variasi larutan aquadest, HCl dan H₂SO₄ dengan konsentrasi 0.5 M, 1 M, 1.5 M dan 2 M.
5. Karbon dan larutan yang telah dicampur lalu diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 2 jam pada temperatur 75 °C dengan kecepatan 400 rpm.
6. Proses eksfoliasi dilakukan dengan sonikasi larutan menggunakan ultrasonic cleaner selama 5 jam.
7. Sampel dicuci menggunakan NaOH dan aquades sampai pH netral, kemudian dikeringkan dengan suhu 100 °C selama 2 jam untuk menghilangkan kadar air

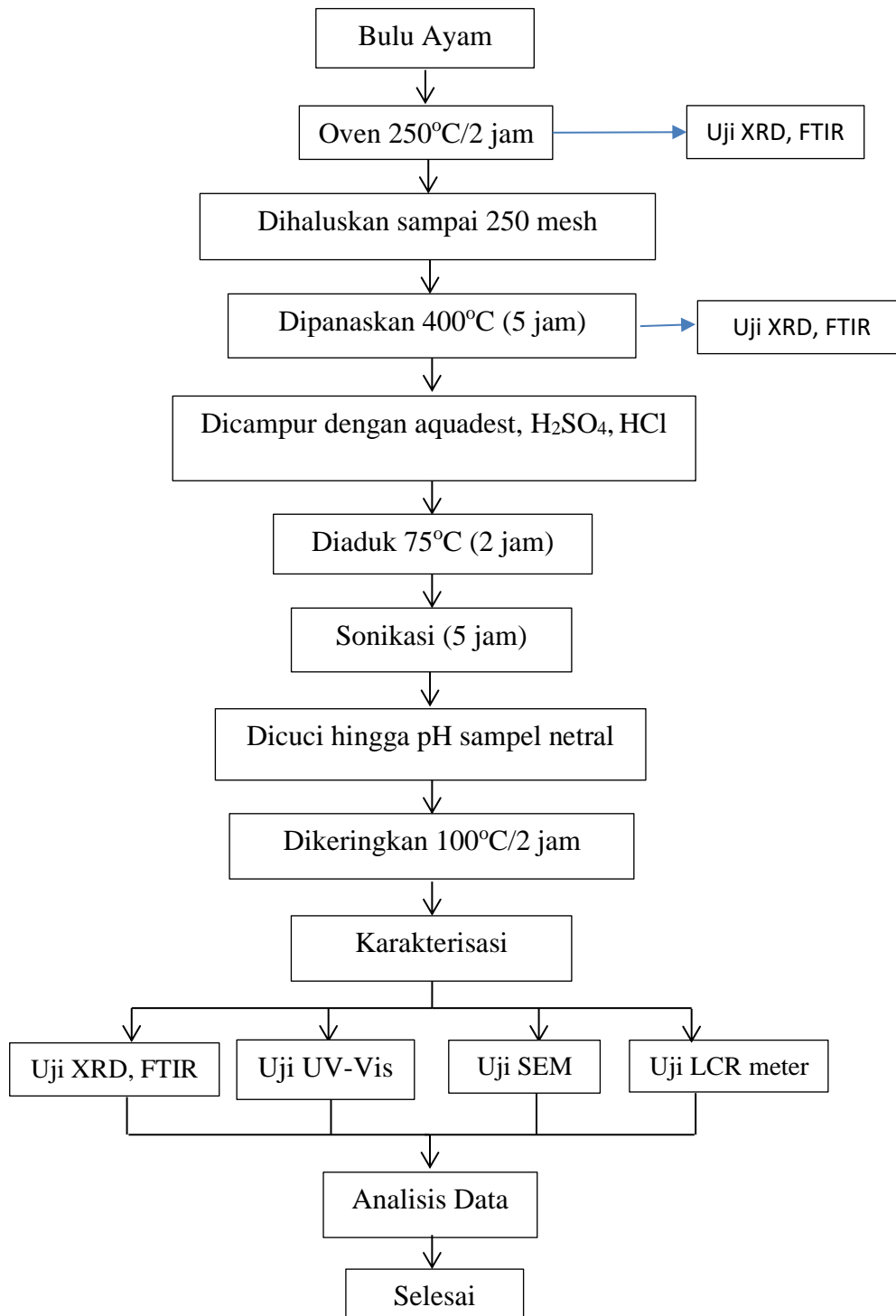
3.3 Karakterisasi Material

- a) Pengujian menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk identifikasi struktur kristal karbon yang belum dan telah dieksfoliasi
- b) Pengujian menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk sebelum dan sesudah dieksfoliasi
- c) Pengujian menggunakan SEM, untuk mengetahui morfologi permukaan sampel
- d) Pengujian menggunakan UV-Vis untuk mengetahui panjang gelombang serapan dan Energi gap yang dihasilkan

3.4 Karakterisasi Sifat Listrik

- a) Material aktif (GO/rGO) (80 %), PVDF (20 %) dan DMSO (2 ml) ditimbang sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan.
- b) Larutan DMSO dicampurkan dengan serbuk PVDF di dalam beaker glass sampai larutan jernih.
- c) Serbuk material aktif digerus lalu dimasukkan ke dalam larutan kemudian diaduk selama ± 1 jam di atas hot plate sampai terbentuk slurry yang diinginkan.
- d) Slurry dituangkan di atas cetakan sedikit demi sedikit kemudian dikeringkan dengan temperatur sebesar 80 °C
- e) Lembaran yang terbentuk kemudian dilapisi dengan pasta perak
- f) Diuji menggunakan RCL meter untuk mendapatkan nilai kapasitansi dan resistansi sebagai fungsi frekuensi dengan rentang 500 Hz sampai 5 MHz

3.5 Diagram alir



3.6 Rencana Pembahasan

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah data pengujian fisis dan sifat listrik. Pengujian sifat fisis menghasilkan data struktur kristal, fasa yg terbentuk, ukuran butir, komposisi, luas permukaan dan energi gap. Pengujian sifat listrik menghasilkan data konduktivitas listrik, resistivitas, dan kapasitansi.

Hasil pengujian difraksi sinar X (XRD) akan dianalisis menggunakan software Match! untuk menunjukkan fasa yang dihasilkan, dengan teknik mencocokkan hasil dan database kristal. Hasil karakterisasi dengan SEM akan diperoleh hasil berupa gambar morfologi pada sampel. Jumlah lapisan pada rGO akan menunjukkan jumlah yang lebih sedikit daripada bentuk graphite.

Sampel diuji dengan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui panjang gelombang serapan dan puncak absorbansi. Rentang panjang gelombang yang digunakan untuk uji UV-Vis berkisar pada 200-800 nm. Rentang panjang gelombang ini dipilih karena pengujian sampel menggunakan sinar UV yang berada pada rentang 200-400 nm dan sinar tampak (*Visible*) pada rentang 400-800 nm. Hasil pengujian akan dianalisis menggunakan persamaan dan kurva, untuk mendapatkan energi gap sampel.

Nilai konduktivitas listrik bulu ayam diukur menggunakan LCR-meter. Didapatkan nilai resistansi (R) dengan satuan Ω , dan kapasitansi dengan satuan μF . Konduktivitas listrik (σ) dihitung menggunakan persamaan :

$$\sigma = \frac{l}{R A}$$

Data hasil uji sifat listrik dicatat pada tabel berikut.

Tabel 3.2 Contoh tabel data hasil pengujian sifat listrik

Sampel	Konduktivitas (S/m)	Kapasitansi (μF)
Karbon		
Karbon + aquadest		
Karbon + H ₂ SO ₄ 1M		
Karbon + H ₂ SO ₄ 2M		
Karbon + HCl 1M		
Karbon + HCl 2M		

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Karbon dibuat dari bulu ayam yang sudah dicuci bersih dan dioven sampai kering. Bulu ayam yang sudah kering dipanaskan pada suhu 250 °C selama 30 menit sampai menjadi karbon. Karbon hasil pemanasan tersebut diayak menggunakan 250 mesh screen. Kemudian karbon dipanaskan kembali pada temperatur 400 °C selama 5 jam dengan kenaikan temperatur 5°/menit. Pemanasan dilakukan dalam kondisi atmosfer untuk mengoksidasi sampel dan didapatkan hasil seperti gambar 4.1.

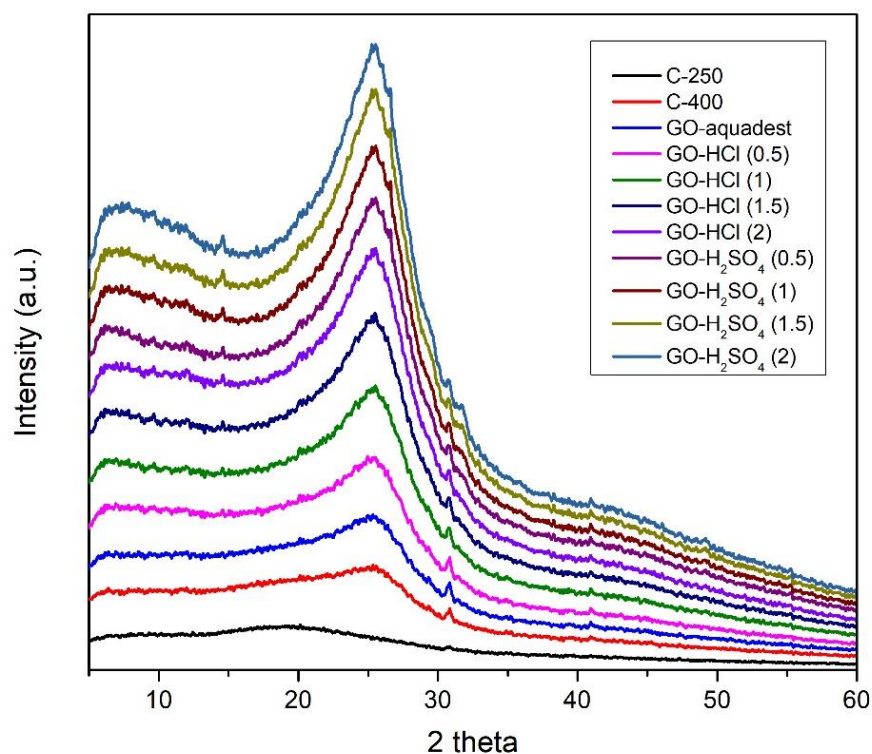


Gambar 4.1 Hasil pemanasan bulu ayam pada temperatur 400°C

Setelah proses pemanasan, karbon dieksfoliasi menggunakan ultrasonic cleaner selama 5 jam dengan menambahkan larutan aquades, HCl dan H₂SO₄ variasi konsentrasi 0,5 M, 1 M, 1,5 M dan 2 M. Sampel yang sudah dieksfoliasi, disaring dan dicuci menggunakan NaOH 0,25 M dan aquades. Pencucian sampel menggunakan basa akan menyebabkan reaksi netralisasi. . Pencucian dilakukan untuk menghilangkan kadar asam dalam sampel. Proses netralisasi terjadi karena interaksi antara asam dan basa yang melibatkan ion H⁺ dan ion OH⁻ untuk membentuk air dan garam sehingga pH sampel menjadi netral. Kemudian sampel dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 100 °C selama 2 jam. Sampel

dikarakterisasi menggunakan UV-Vis, XRD, SEM dan uji sifat listrik menggunakan LCR meter.

Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh November. Gelombang yang digunakan yaitu Cu_K-alpha 1,54 Å dengan rentang pengukuran 2θ 5°-60°. Hasil pengujian XRD berupa grafik intensitas terhadap sudut difraksi 2θ . Grafik XRD karbon dari bulu ayam dengan variasi konsentrasi larutan HCl dan H₂SO₄ dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Difraktogram sampel karbon bulu ayam

Pola XRD sampel yang ditunjukkan pada gambar 4.2 terdiri dari proses pemanasan dan eksfoliasi dengan penambahan larutan aquades, HCl dan H₂SO₄. Proses pemanasan pada temperatur 250 °C menghasilkan puncak difraksi yang lebar dan landai disekitar $2\theta \sim 19^\circ$. Ketika sampel dipanaskan kembali pada temperatur 400°C, puncak difraksi bergeser ke arah kanan dengan gundukan yang lebih runcing pada posisi $2\theta \sim 25^\circ$ (gambar 4.2). Setelah data XRD dianalisis menggunakan

software *Highscore*, pergeseran puncak ini disebabkan adanya perubahan struktur kristal sampel. Sampel yang dipanaskan pada temperatur 250 °C memiliki struktur ortorombik. Ketika sampel dipanaskan kembali pada 400°C sampel memiliki struktur heksagonal dengan indeks bidang (002). Pola XRD dan struktur kristal menunjukkan sampel termasuk dalam fasa rGO.

FWHM (Full Width Half Maximum) merupakan lebar setengah puncak difraksi. Nilai FWHM dan sudut difraksi sampel ditunjukkan pada tabel 4.1. Saat proses pemanasan pada temperatur 250°C, sampel memiliki nilai FWHM yang cukup besar. Ketika sampel dipanaskan pada 400°C, nilai FWHM menjadi lebih kecil. Nilai FWHM yang semakin kecil menunjukkan adanya keteraturan susunan kristal sampel yang semakin baik.

Pergeseran puncak difraksi mempengaruhi besarnya jarak antar bidang (*d*). Nilai *d* berbanding terbalik dengan nilai $\sin \theta$. Nilai *d* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.1 yang dikenal dengan Hukum Bragg (Callister dan David, 2007). Nilai *d* dapat dilihat pada tabel 4.1.

$$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

Hasil difraksi dapat digunakan untuk mengetahui ukuran kristalit dari sampel. Kristalit karbon tersusun atas lapisan heksagonal yang berikatan secara kovalen. Kisi-kisi heksagonal tersusun seperti lembaran - lembaran yang saling bertumpuk dan memiliki jarak sebesar *d* (gambar 4.3). Tinggi (*Lc*) kristalit ditunjukkan pada tabel 4.1. *Lc* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer (Ferret, 1998):

$$Lc = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta}$$

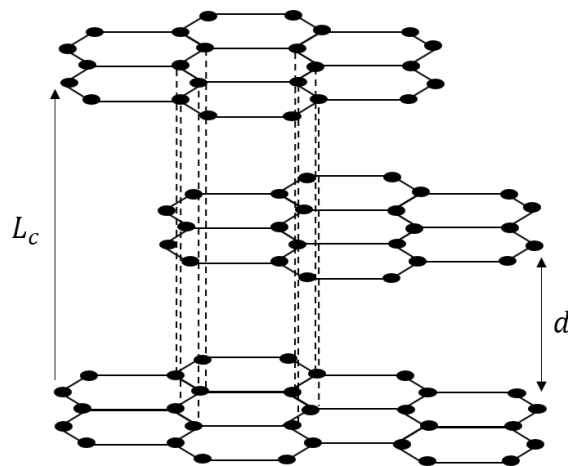
Tabel 4.1 Nilai FWHM, posisi puncak karbon, dan ukuran kristal karbon

Sampel	FWHM 2θ	Sudut 2θ	<i>d</i> (Å)	<i>Lc</i> (Å)
C-250	17.04	19.57	-	-
C-400	4.50	25.55	3.48	18.48
GO-aquadest	4.19	25.23	3.53	20.08
GO-HCl (0.5) M	4.27	25.45	3.49	19.52
GO-HCl (1) M	4.46	25.49	3.49	18.73
GO-HCl (1.5) M	4.73	25.45	3.49	17.78
GO-HCl (2) M	4.85	25.30	3.52	17.33
GO-H ₂ SO ₄ (0.5) M	4,23	25,76	3,45	19,74

GO-H ₂ SO ₄ (1) M	4,30	25,47	3,49	19,46
GO-H ₂ SO ₄ (1.5) M	5,07	25,27	3,52	16,52
GO-H ₂ SO ₄ (2) M	6,19	25,43	3,50	13,53

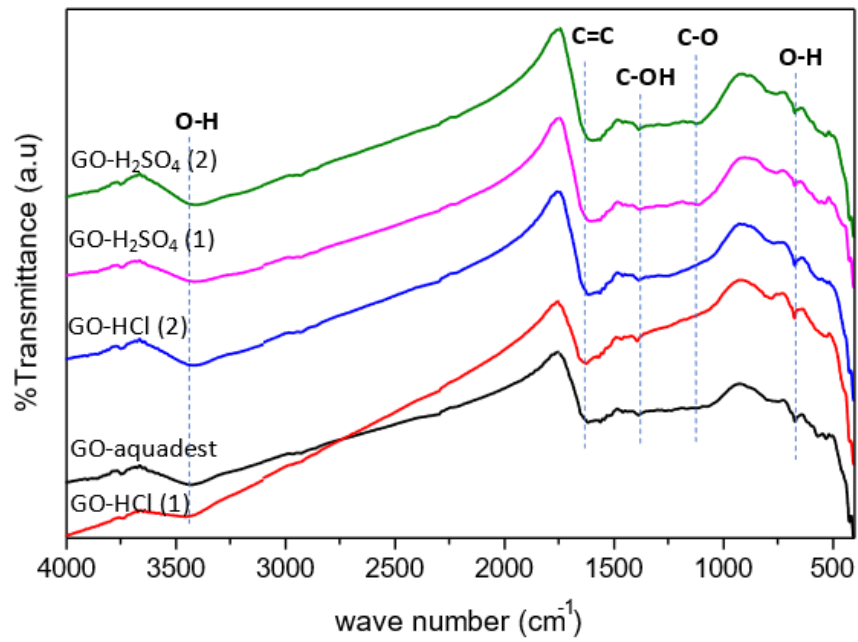
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa puncak difraksi karbon mengalami pergeseran. Setelah pemanasan 400°C seluruh puncak bergeser ke arah kiri menuju 2θ yang semakin kecil. Pergeseran puncak terjadi karena adanya cacat pada sampel. Cacat kristal dapat terjadi karena *vacancy* akibat penguapan zat-zat volatile selama proses pemanasan (Hariyanto, 2012).

Tabel 4.1 menunjukkan puncak semakin melebar pada proses eksfoliasi dengan penambahan larutan HCl dan H₂SO₄, seiring meningkatnya konsentrasi larutan sehingga nilai FWHM semakin besar. Proses eksfoliasi ini menyebabkan puncak difraksi mengalami pergeseran. Nilai d (jarak antar lapisan) menunjukkan fasa yang dimiliki oleh sampel merupakan fasa rGO.



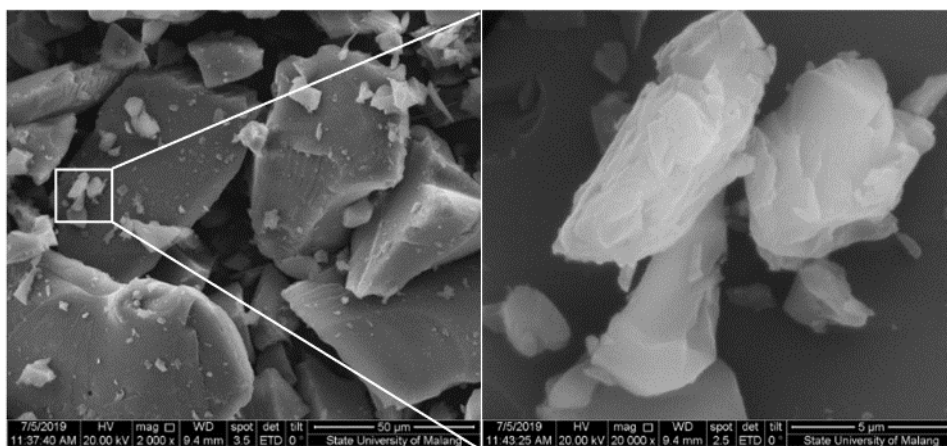
Gambar 4.3 Struktur Kristal Karbon

Analisis gugus fungsi sampel menggunakan FTIR spektrometri pada rentang bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} . Dari gambar 4.4, didapatkan pola puncak transmitansi pada sampel yang dieksfoliasi menggunakan aquades, HCl dan H₂SO₄ menunjukkan hasil yang hampir sama. Didapatkan puncak transmitansi di sekitar bilangan gelombang $\sim 741, 1073, 1384, 1615$ dan 3420 cm^{-1} yang diidentifikasi secara berturut-turut sebagai gugus fungsi O-H, C-O, C-OH, C=C dan OH. Hasil ini menunjukkan terbentuknya rGO dan sedikit GO pada sampel.

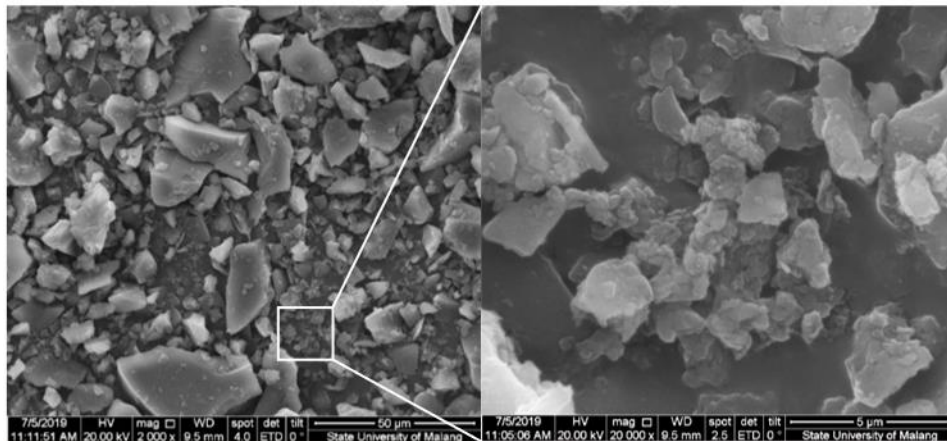


Gambar 4.4 Spektra FTIR

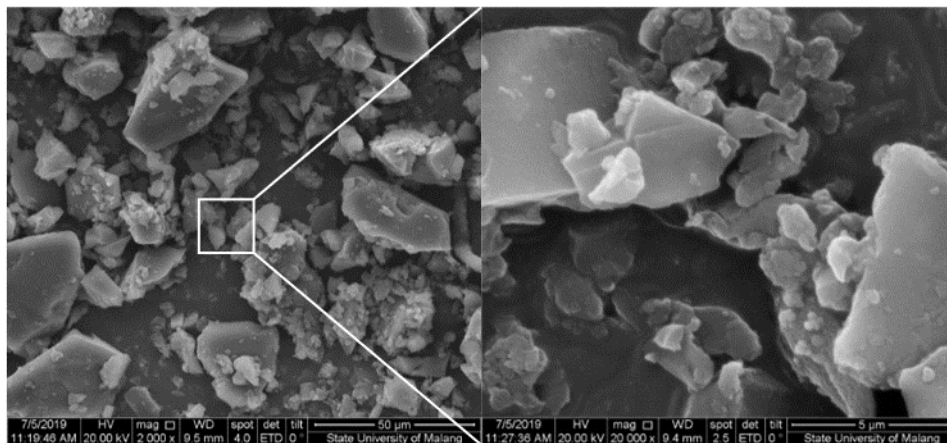
Morfologi permukaan sampel dapat terlihat dengan baik dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Karakterisasi SEM menggunakan FEI, Type: Inspect-S50. Gambar 4.5 menunjukkan hasil SEM sampel karbon dan rGO yang dieksfoliasi menggunakan HCl 2 M dan H₂SO₄ 1M.



(a)



(b)



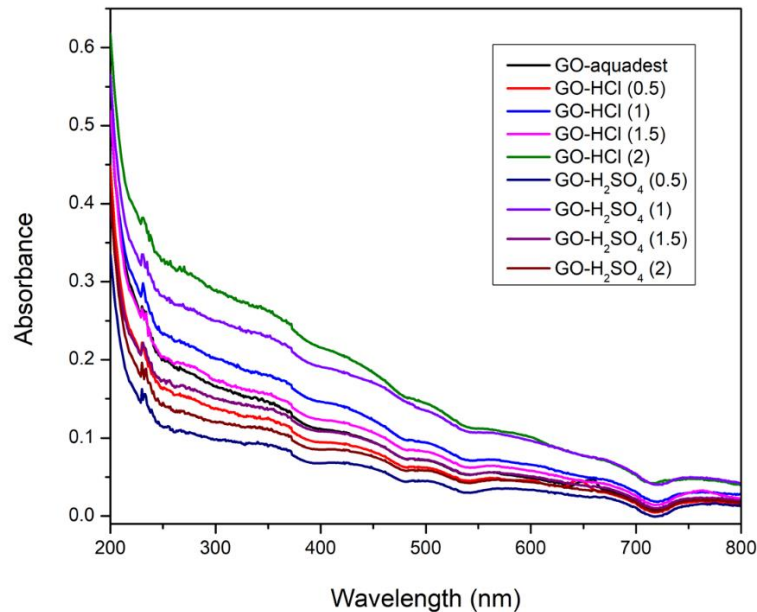
(c)

Gambar 4.5 Hasil SEM pada sampel (a) 400°C; (b) HCl 2 M; (c) H₂SO₄ 1 M

Pada morfologi sampel karbon 400°C dengan perbesaran 20.000x menunjukkan lembaran yang terbentuk belum terkelupas sepenuhnya. Proses eksfoliasi dengan HCl 2 M dan H₂SO₄ 1 M mengakibatkan ukuran lembaran menjadi lebih kecil sehingga pada permukaan sampel terlihat lembaran yang teraglomerasi dan menumpuk satu sama lain. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang ultrasonik dengan kekuatan tinggi dapat merusak atau mengikis dinding sel pada permukaan zat padat. Proses eksfoliasi menimbulkan efek kavitasi yang menyebabkan terjadi tumbukan antara partikel karbon satu dengan yang lainnya. Hingga menyebabkan terpecahnya dinding partikel karbon menjadi ukuran yang lebih kecil.

Pengujian menggunakan spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk mengetahui nilai absorbanasi, panjang gelombang maksimum dan band gap dari

sampel. Data hasil UV-Vis berupa plot panjang gelombang terhadap absorbansi. Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan spektrum absorbansi karbon bulu ayam dengan eksfoliasi menggunakan aquadest dan variasi konsentrasi HCl dan H₂SO₄ yang berbeda.



Gambar 4.6 Spektrum absorbansi UV-Vis GO/rGO dengan variasi konsentrasi aquades, HCl dan H₂SO₄

Hasil plot grafik absorbansi menunjukkan nilai absorbansi yang berbeda pada setiap sampel. Proses eksfoliasi dengan penambahan aquades, HCl dan H₂SO₄ dengan variasi konsentrasi berpengaruh pada nilai absorbansi sampel. Sampel karbon dengan penambahan larutan HCl 2 M memiliki nilai absorbansi yang paling tinggi diantara sampel lainnya.

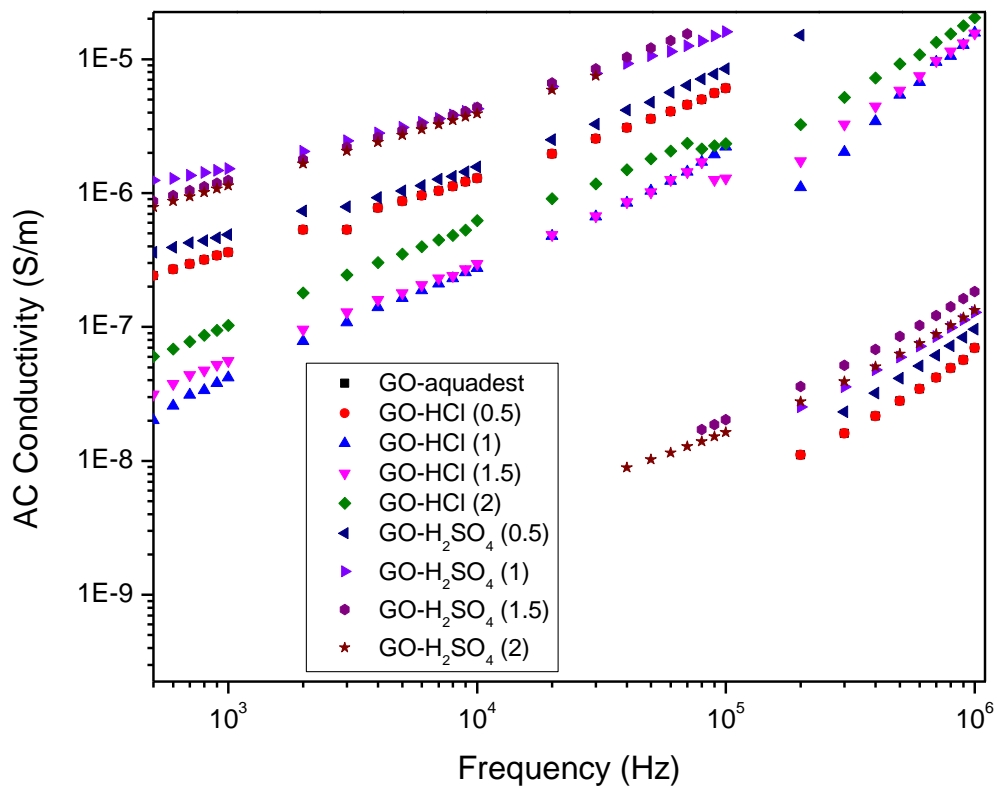
Data spektrum panjang gelombang dan absorbansi dapat digunakan untuk mengetahui nilai band gap dari sampel dengan menggunakan metode ekstrapolasi plot hubungan $(\alpha h\nu)^n$ sebagai fungsi energi foton. Hasil ekstrapolasi memberikan nilai band gap yang berbeda setiap sampel. Energi foton yang menunjukkan nilai dibawah 6 menandakan bahwa sampel termasuk bahan semikonduktor. Semikonduktor memiliki 2 kasifikasi energi gap, direct dan indirect. Plot band gap direct dan indirect dapat dilihat pada lampiran. Hasil perhitungan energi gap menggunakan garis ekstrapolasi, ditunjukkan pada table 4.2

Tabel 4.2 Nilai band gap direct dan indirect sampel

Sampel	Energi gap <i>direct</i> (eV)	Energi gap <i>indirect</i> (eV)
GO-Aquades	5.74	4.7
GO-HCl (0.5) M	5.8	4.85
GO-HCl (1) M	5.79	4.76
GO-HCl (1.5) M	5.78	4.76
GO-HCl (2) M	5.74	4.54
GO-H ₂ SO ₄ (0.5) M	5,56	4,44
GO-H ₂ SO ₄ (1) M	5,49	4,43
GO-H ₂ SO ₄ (1.5) M	5,47	4,39
GO-H ₂ SO ₄ (2) M	5,58	4,57

Nilai energi gap *direct* berada pada range 5.47 eV – 5.8 eV. Sedangkan energi gap *indirect* memiliki range 4.39 eV – 4.85 eV. Nilai energi gap tiap sampel menunjukkan perbedaan hasil yang tidak terlalu signifikan. Secara umum, nilai energi gap pada sampel yang dieksfoliasi dengan H₂SO₄ menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan menggunakan HCl.

Karakterisasi sifat listrik dilakukan dengan alat Hioki 3532-50 LCR Hitester di Laboratorium Medan Magnet Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Data yang diperoleh dari LCR berupa Cp, Rp, D dan θ . Pengambilan data dilakukan dengan menguji sampel dalam rentang frekuensi 500 Hz sampai 1 MHz. Kemudian data diolah sehingga menghasilkan plot konduktivitas, kapasitansi dan permitivitas.



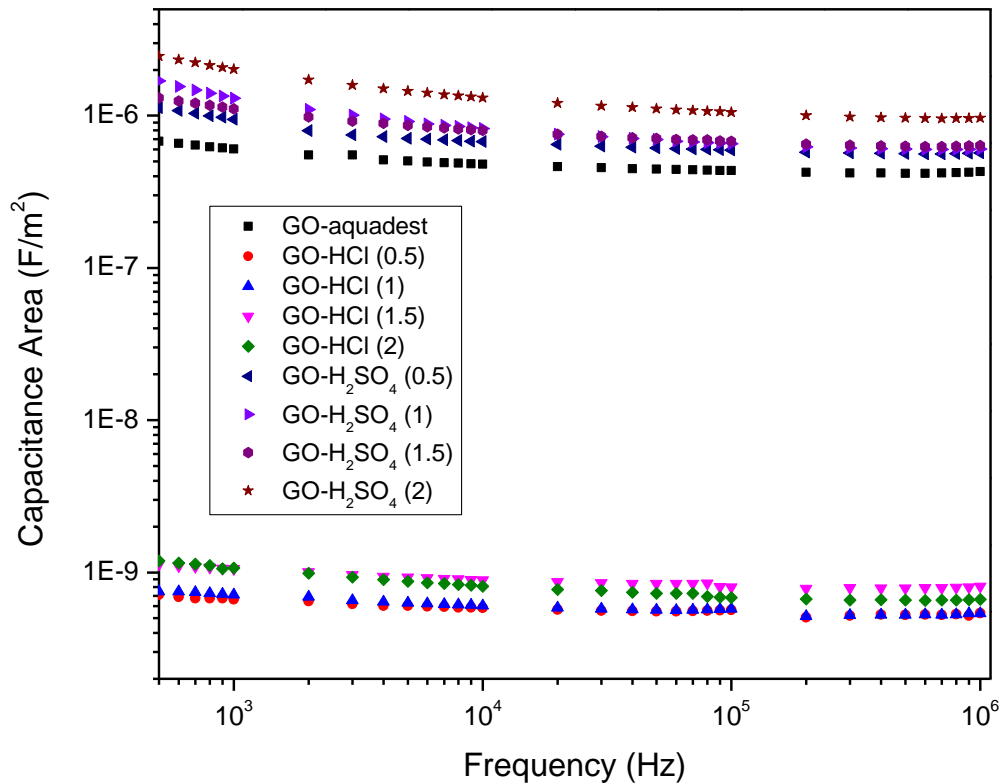
Gambar 4.7 Grafik nilai konduktivitas sampel dengan fungsi frekuensi

Gambar 4.7 menunjukkan penambahan larutan HCl dan H₂SO₄ berpengaruh pada nilai konduktivitas bahan. Hal ini dapat diketahui konduktivitas meningkat dengan penambahan H₂SO₄ dan menurun dengan penambahan HCl pada proses eksfoliasi kimia. Konduktivitas tertinggi mencapai $1,18 \times 10^{-4}$ S/m pada sampel karbon dengan penambahan H₂SO₄ 1,5 M. Tetapi pada karbon dengan penambahan H₂SO₄ 2 M konduktivitas mengalami penurunan dengan nilai konduktivitas $2,57 \times 10^{-5}$ S/m. Hal ini disebabkan karena konsentrasi larutan asam yang terlalu pekat dapat mempengaruhi cacat (*defect*) pada sampel sehingga menurunkan nilai konduktivitasnya.

Tabel 4.3 Nilai konduktivitas dan kapasitansi sampel pada frekuensi 1 MHz

Sampel	Konduktivitas (S/m)	Kapasitansi (F/m ²)
Karbon + Aquades	$6,98 \times 10^{-5}$	$4,28 \times 10^{-7}$
Karbon + H ₂ SO ₄ 0,5 M	$9,59 \times 10^{-5}$	$5,69 \times 10^{-7}$
Karbon + H ₂ SO ₄ 1 M	$1,28 \times 10^{-4}$	$6,04 \times 10^{-7}$
Karbon + H ₂ SO ₄ 1,5 M	$1,84 \times 10^{-4}$	$6,36 \times 10^{-7}$
Karbon + H ₂ SO ₄ 2 M	$1,33 \times 10^{-4}$	$9,67 \times 10^{-7}$
Karbon + HCl 0.5 M	$1,11 \times 10^{-5}$	$5,39 \times 10^{-10}$
Karbon + HCl 1 M	$1,58 \times 10^{-5}$	$5,38 \times 10^{-10}$
Karbon + HCl 1.5 M	$1,56 \times 10^{-5}$	$8,10 \times 10^{-10}$
Karbon + HCl 2 M	$2,09 \times 10^{-5}$	$6,66 \times 10^{-10}$

Kapasitansi merupakan kemampuan suatu material dalam menyimpan muatan. Grafik kapasitansi sebagai fungsi frekuensi pada gambar 4.8 menunjukkan penurunan di frekuensi rendah kemudian stabil pada frekuensi $>10^4$ Hz. Kapasitansi tertinggi dimiliki oleh sampel dengan penambahan H₂SO₄ 2 M dan terendah pada sampel dengan penambahan HCl.



Gambar 4.8 Grafik nilai kapasitansi area sampel dengan fungsi frekuensi

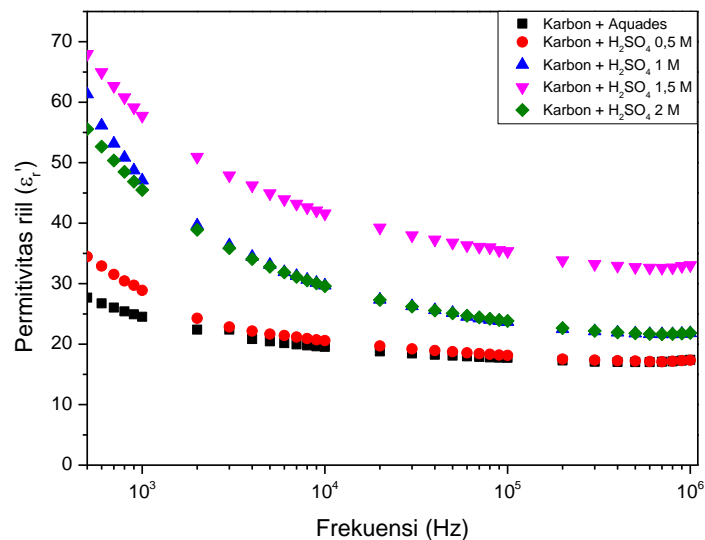
Permitivitas relatif atau konstanta dielektrik merupakan perbandingan energi listrik yang tersimpan pada bahan jika diberi potensial dan relatif terhadap ruang hampa. Permitivitas dipengaruhi oleh banyaknya muatan yang tersimpan dalam bahan dielektrik. Jika kapasitor diisi dengan bahan dielektrik maka karakteristik dapat dianalisis menggunakan data permitivitas relatif. Permitivitas riil dapat dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon_r' = \frac{C d}{\epsilon_0 A}$$

Sedangkan permitivitas imajiner dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon_r'' = \epsilon_r' \cdot D$$

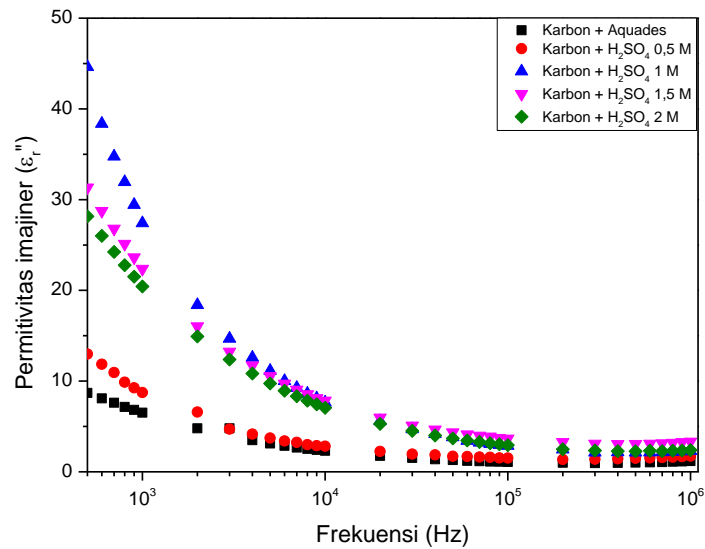
Permitivitas riil dan permitivitas imajiner diplot sebagai fungsi frekuensi untuk mengidentifikasi polarisabilitas bahan dielektrik.



Gambar 4.9 Grafik nilai permitivitas riil sampel dengan fungsi frekuensi

Gambar 4.9 menunjukkan eksfoliasi dengan H₂SO₄ meningkatkan nilai permitivitas riil pada sampel sampai pada konsentrasi 1,5 M. Penambahan konsentrasi H₂SO₄ 2 M menurunkan nilai permitivitas riilnya. Nilai permitivitas riil pada frekuensi tinggi menurun bila dibandingkan pada frekuensi rendah.

Permittivitas imajiner memiliki nilai yang positif dan memiliki nilai lebih kecil dibandingkan permittivitas riil. Grafik pada 4.10 menunjukkan nilai permittivitas imajiner menurun ketika frekuensi semakin tinggi.



Gambar 4.10 Grafik nilai permittivitas imajiner sampel dengan fungsi frekuensi

Gambar 4.10 menunjukkan penambahan H₂SO₄ pada proses eksfoliasi meningkatkan nilai permittivitas imajiner sampel. Nilai permittivitas pada frekuensi tinggi lebih kecil bila dibandingkan pada frekuensi rendah. Tetapi pada frekuensi tinggi, nilai permittivitas cenderung stabil.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan :

1. Variasi konsentrasi HCl dan H₂SO₄ pada proses eksfoliasi berpengaruh terhadap sifat fisis sampel. Struktur kristal yang terbentuk yaitu hexagonal dengan fasa rGO. Nilai D (ukuran kristal) menurun hingga 17 dan 13 Å pada konsentrasi HCl dan H₂SO₄ 2 M.
2. Pada hasil SEM, penambahan HCl dan H₂SO₄ pada proses eksfoliasi menyebabkan ukuran partikel menjadi lebih kecil dan berbentuk seperti lembaran tipis yang tertumpuk.
3. Variasi konsentrasi HCl dan H₂SO₄ berpengaruh pada sifat listrik sampel. Energi gap terkecil dimiliki oleh sampel dengan penambahan H₂SO₄ 1,5 M yaitu 5,47 eV. Konduktivitas tertinggi dimiliki sampel karbon yang dieksfoliasi dalam larutan H₂SO₄ 1,5 M sebesar $1,84 \times 10^{-4}$ S/m. Penambahan konsentrasi H₂SO₄ 2 M memiliki kapasitansi tertinggi mencapai $9,67 \times 10^{-7}$ F/m²

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan lebih mengeksplorasi metode reduce graphene oxide untuk mendapatkan hasil dan kualitas rGO yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam Syed N., Sharma N., Kumar L. 2017. *Synthesis of Graphene Oxide (GO) by Modified Hummers Method and Its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide (rGO)*. Graphene (6) : 1-18
- Azizah, and Hastuti. 2014. *Characterization Of Crystal Structure Of Hydrogen Storage Keratin-Mg Using Rietveld Analysis*. Proceeding International Conference 5th Green Technology, Malang: UIN Malang.
- Bartels, T. 2003. *Variations In The Morphology, Distribution, And Arrangement Of Feathers In Domesticated Birds*. Journal of Experimental Zoology (Mol. Dev. Evol), 298B: 91-108
- Beiser, Arthur. 1986. *Konsep Fisika Modern*. Jakarta: Erlangga.
- Cai, M., Thorpe, D., Adamson, D.H., Schniepp, H.C., 2012. *Methods of Graphite Exfoliation*. Journal of Materials Chemistry 22: 24992–25002
- Cataldi, P., Oana Condurache, Davide Spirito, Roman Krahné, Ilker S. Bayer, Athanassia Athanassiou, and Giovanni Perotto. 2019. *Keratin-Graphene Nanocomposite: Transformation of Waste Wool in Electronic Devices*. ACS Sustainable Chem. Eng.7, 12544–12551
- Chen, S., Qingzhi Wu, Columbia Mishra, Junyong Kang, Hengji Zhang, Kyeongjae Cho, Weiwei Cai, Alexander A. Balandin & Rodney S. Ruoff. 2012. *Thermal Conductivity Of Isotopically Modified Graphene*. Nature Material 11: 203-207
- Ciesielski, Artur dan Samori Paolo. 2013. *Graphene via Sonication Assisted Liquidphase Exfoliation*. Journal of Chemical Society Reviews 43: 381-398
- Eigler dan Dimiev. 2017. *Graphene Oxide: Fundamentals and Applications*. First Edition. New York: John Wiley & Sons
- Farida and Hastuti. 2013. *Characterization And Analysis Of Crystal Structure Mixed Keratin-Magnesium Composite With Rietveld Method*. Proceeding International Conference 4th Green Technology, Malang: Uin Malang.
- Geim, A.K., dan Novoselov, K.S. 2007. *The rise of graphene*. Nature Materials Vol. 6: 183–191

- González, C. R., Kharissova, O. V., Hernández, A. L., Castañob, V. M., Santos, C. V. 2012. *Polysaccharide Nanocomposites Reinforced with Graphene Oxide and Keratin-Grafted Graphene Oxide*. Ind. Eng. Chem. Res. 51, 3619–3629
- González, C. R., Kharissova, O. V., Hernández, A. L., Castañob, V. M., Santos, C. V. 2013. *Graphene Oxide Sheets Covalently Grafted With Keratin Obtained From Chicken Feathers*. Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, Vol. 8, No. 1: 127 - 138
- Islamiyah W., Nashirudin, W., Baqiya, M. A., Cahyono, Y., Darminto. 2017. *Sulfuric Acid Intercalated-Mechanical Exfoliation Of Reduced Graphene Oxide From Old Coconut Shell*. Proceedings of the 3rd International Conference on Materials and Metallurgical Engineering and Technology (ICOMMET 2017). Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Jimenez-Cervantes E. A., R. Fuentes-Ramirez, A.L. Martinez-Hernandez, Blanca Millan-Chiu, Luz M. Lopez-Marin, V.M. Castaño, C. Velasco-Santos. 2014. *Graphene oxide and reduced graphene oxide modification with polypeptide chains from chicken feather keratin*. Journal of Alloys and Compounds
- Jimenez-Cervantes E. A., J. López-Barroso, A.L. Martínez-Hernández and C. Velasco-Santos. 2016. *Graphene-Based Materials Functionalization with Natural Polymeric Biomolecules*. Intech
- Kock, Jeffrey W. 2006. *Physical and Mechanical Properties of Chicken Feather Materials*. Theses. Georgia: Georgia Institute of Technology
- Kovtyukhova. 2014. *Non Oxidative Intercalation and Exfoliation of Graphite By Brønsted Acids*. Nature Chemistry Vol. 6: 957-963
- Lai, Q., Shifu Zhu, Xueping Luo, Min Zou, and Shuanghua Huang. 2012. *Ultraviolet-Visible Spectroscopy of Graphene Oxide*. AIP Advances Vol. 2: 1-5.
- Lerf, A. He, H. Forster, M. Klinowski, J. 1998. *Structure Of Graphite Oxide Revisited*. Journal Physics Chemistry B, 102: 4477–4482.
- Li, J., X. Zeng, T. Ren, and E. Van der Heide. 2014. *The Preparation of Graphene Oxide and Its Derivatives and Their Application in Bio-Tribological Systems*. Lubricants Vol.2 (3): 137-161

- Li Y.-B., H.-H. Liu, X.-C. Wang, X.-X. Zhang. 2019. *Fabrication and performance of wool keratine functionalized graphene oxide composite fibers*. *Materials Today Sustainability* 3-4
- Misra, M., Kar P, Priyadarshan G, Licata C. 2004. *Keratin Protein Nanofibre For Removal Of Heavy Metals And Contaminants*. In: MRS proceedings. Cambridge University Press, Cambridge: 1–11
- Putra, Gilang B.A., Herdy Y. Pradana, Dimas E.T Soenaryo, Malik A. Baqiya, Darminto. 2017. *Synthesis of green Fe³⁺/glucose/rGO electrode for supercapacitor application assisted by chemical exfoliation process from burning coconut shell*. Proceedings of the 3rd International Conference on Materials and Metallurgical Engineering and Technology (ICOMMET 2017). Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Rafitasari, Y., Haris Suhendar , Nurul Imani, Fitri Luciana, Hesti Radean, dan Imam Santoso. 2016. *Sintesis Graphene Oxide Dan Reduced Graphene Oxide*. Seminar Nasional Fisika 2016 (E-Journal) Volume 5, Oktober 2016
- Ray, Sekar C. 2015. *Applications of Graphene and Graphene-Oxide Based Nanomaterials*. Elsevier (E-book)
- Saravanan, K., dan Dhurai B. 2012. *Exploration On The Amino Acid Content And Morphological Structure In Chicken Feather Fibre*. *J Text Appar Technol Manag* 7(3): 1–6
- Senoz and P. Wool. 2011. *Hydrogen Storage on Pyrolyzed Chicken Feather Fiber*. Chemical Engineering Department, University of Delaware.
- Schmidt, W.F. dan Line, M.J. 1996. *Physical And Chemical Structures Of Poultry Feather Fiber Fractions In Fiber Process Development*. 1996 Nonwovens Conference TAPPI Proceedings: 135-141.
- Talat, M. dan Srivastava, O. N. 2014. *Advanced Carbon Materials and Technology*. Scrivener Publishing LLC: 1-34
- Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath D. 2017. *Valorisation Of Chicken Feathers: A Review On Recycling And Recovery Route—Current Status And Future Prospects*. *Clean Techn Environ Policy*

- Tetra, Olly N., Hermansyah Aziz, Emriadi, Sanusi Ibrahim, dan Admin Alif. 2018. *Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif Dan Larutan Ionik Sebagai Elektrolit*. Jurnal Zarah , Vol. 6 No.1: 39-46
- Wang, Q., Cao, Q., Wang, X., Jing, B., Kuang, H., & Zhou, L. 2013. *A high-capacity carbon prepared from renewable chicken feather biopolymer for supercapacitors*. Journal of Power Sources, 225: 101–107.
- Wisnuwijaya. Rhyko I. 2017. *Preparasi Dan Sintesis Graphene Oxide Dengan Metode Liquid Sonication Exfoliation Dan Random Collision Marbles Shaking Dengan Bahan Dasar Graphite Limbah Baterai Zinc-Carbon Berdasarkan Uji Spektrofotometer UV-Vis (Skripsi)*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Yi dan Shen, 2015. *A Review On Mechanical Exfoliation For The Scalable Production Of Graphene*. Journal of Materials Chemistry A 2015 (3): 11700–11715
- Yu, M., Wu, P., Widelitz, R.B., Chuong, C. 2002. *The Morphogenesis of Feathers*. Nature (420): 308-312.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN BAHAN

1. Yield Massa

a. Pembuatan Karbon Bulu Ayam ($T = 400^{\circ}\text{C}$)

Diket =
Massa awal karbon 250°C = 321.89 gr
Massa akhir karbon 250°C = 200.79 gr
Ditanya =
Yield massa (%)...?
Jawab =

$$\begin{aligned} \text{yield massa (\%)} &= \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\% \\ &= \frac{321.89 - 200.79}{321.89} 100\% \\ &= 37.62\% \\ 100\% - 37.62\% &= 62.38\% \end{aligned}$$

b. Proses Eksfoliasi

➤ Karbon HCl 0.5 M

Diket =
Massa awal karbon = 15.0566 gr
Massa akhir karbon = 13.7692 gr
Ditanya =
Yield massa (%)...?
Jawab =

$$\begin{aligned} \text{yield massa (\%)} &= \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\% \\ &= \frac{15.0566 - 13.7692}{15.0566} 100\% \\ &= 8.55\% \\ 100\% - 8.55\% &= 91.45\% \end{aligned}$$

➤ Karbon HCl 1 M

Diket =
Massa awal karbon = 15.0997 gr
Massa akhir karbon = 13.6248 gr
Ditanya =
Yield massa (%)...?
Jawab =

$$\text{yield massa (\%)} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{15.0997 - 13.6248}{15.0997} 100\%$$

$$= 9.77\%$$

$$100\% - 9.77\% = 90.23\%$$

➤ Karbon HCl 1.5 M

Diket =

Massa awal karbon = 15.0899 gr

Massa akhir karbon = 13.5837 gr

Ditanya =

Yield massa (%)...?

Jawab =

$$\text{yield massa (\%)} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{15.0899 - 13.5837}{15.0899} 100\%$$

$$= 9.98\%$$

$$100\% - 9.98\% = 90.02\%$$

➤ Karbon HCl 2 M

Diket =

Massa awal karbon = 15.0233 gr

Massa akhir karbon = 13.5192 gr

Ditanya =

Yield massa (%)...?

Jawab =

$$\text{yield massa (\%)} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{15.0233 - 13.5192}{15.0233} 100\%$$

$$= 10.01\%$$

$$100\% - 10.01\% = 89.99\%$$

2. Preparasi Sampel

a. Pengenceran HCl (38%)

Diket =

Mr HCl = 36.5

Berat jenis = 1.19 gr/ml

Ditanya =

M...?

Jawab =

$$m = \frac{gr}{mr}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{38}{36.5} \\
&= 1.04 \text{ m} \\
L &= \frac{100}{\text{berat jenis}} \\
&= \frac{100}{1.19 \text{ gr/ml}} \\
&= 0.084 \text{ L} \\
M &= \frac{m}{L} \\
&= \frac{1.04 \text{ m}}{0.084 \text{ L}} \\
&= 12.52 \text{ M}
\end{aligned}$$

b. Pembuatan Sampel

➤ Karbon HCl 0.5 M

Diket =

$$M_1 = 12.52 \text{ M}$$

$$M_2 = 0.5 \text{ M}$$

$$V_2 = 150 \text{ ml}$$

Ditanya =

$V_1 \dots ?$

Jawab =

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12.51 \text{ M} \times V_1 = 0.5 \text{ M} \times 150 \text{ ml}$$

$$12.52V_1 = 75 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{75 \text{ ml}}{12.52}$$

$$= 5.99 \text{ ml}$$

➤ Karbon HCl 1 M

Diket =

$$M_1 = 12.52 \text{ M}$$

$$M_2 = 1 \text{ M}$$

$$V_2 = 150 \text{ ml}$$

Ditanya =

$V_1 \dots ?$

Jawab =

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12.51 \text{ M} \times V_1 = 1 \text{ M} \times 150 \text{ ml}$$

$$12.52V_1 = 150 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{150 \text{ ml}}{12.52}$$

$$= 11.98 \text{ ml}$$

➤ Karbon Hcl 1.5 M

Diket =

$$M_1 = 12.52 \text{ M}$$

$$M_2 = 1.5 \text{ M}$$

$$V_2 = 150 \text{ ml}$$

Ditanya =

$V_1 \dots ?$

Jawab =

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12.51 \text{ M} \times V_1 = 1.5 \text{ M} \times 150 \text{ ml}$$

$$12.52V_1 = 225 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{225 \text{ ml}}{12.52}$$

$$= 17.97 \text{ ml}$$

➤ Karbon HCl 2 M

Diket =

$$M_1 = 12.52 \text{ M}$$

$$M_2 = 2 \text{ M}$$

$$V_2 = 150 \text{ ml}$$

Ditanya =

$V_1 \dots ?$

Jawab =

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12.51 \text{ M} \times V_1 = 2 \text{ M} \times 150 \text{ ml}$$

$$12.52V_1 = 300 \text{ ml}$$

$$V_1 = \frac{300 \text{ ml}}{12.52}$$

$$= 23.96 \text{ ml}$$

c. Pengenceran NaOH (48%) untuk Mencuci Sampel

Diket =

$$\text{Mr NaOH} = 39.997$$

$$\text{Berat jenis} = 2.13 \text{ gr/ml}$$

Ditanya =

$M \dots ? V_1 \dots ?$

Jawab =

$$m = \frac{\text{gr}}{\text{mr}}$$

$$= \frac{48}{39.997}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.2 \text{ m} \\
 L &= \frac{100}{\text{berat jenis}} \\
 &= \frac{100}{2.13 \text{ gr/ml}} \\
 &= 0.04695 \text{ L} \\
 M &= \frac{m}{L} \\
 &= \frac{1.2 \text{ m}}{0.04695 \text{ L}} \\
 &= 25.56 \text{ M}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\
 25.56 \text{ M} \times V_1 &= 0.25 \text{ M} \times 150 \text{ ml} \\
 25.56 V_1 &= 37.5 \text{ ml} \\
 V_1 &= \frac{37.5 \text{ ml}}{25.56} \\
 &= 1.5 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

“Dibutuhkan 1.5 ml NaOH dilarutkan kedalam 150 ml aquades untuk membuat 0.25 M NaOH.”

LAMPIRAN 2 DATA DAN PERHITUNGAN XRD

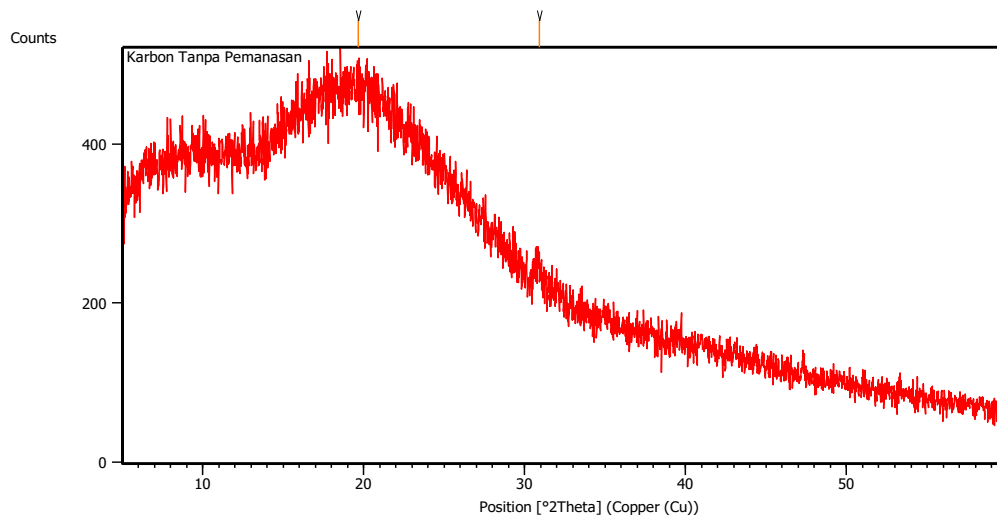
1. Data

Measurement Conditions

Measurement Date / Time	4/24/2019 10:16:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}2\theta$.]	5.0084
End Position [$^{\circ}2\theta$.]	59.9864
Step Size [$^{\circ}2\theta$.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}2\theta$.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1.54060
K-Alpha2 [\AA]	1.54443
K-Beta [\AA]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

a. Karbon 250 $^{\circ}\text{C}$

Main Graphics, Analyze View:

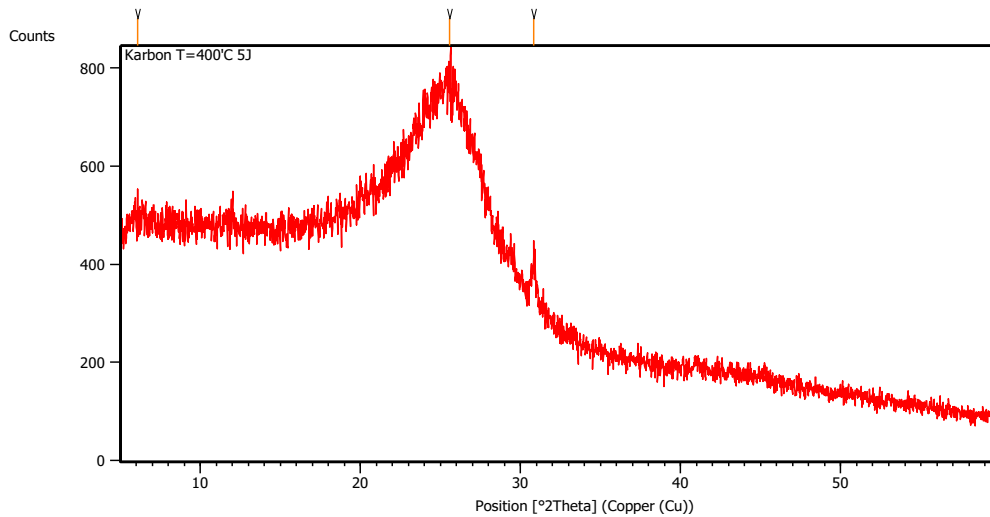


Peak List:

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
19.6457	89.74	0.0900	4.51516	100.00
30.9002	24.69	0.4896	2.89153	27.52

b. Karbon 400°C

Main Graphics, Analyze View:

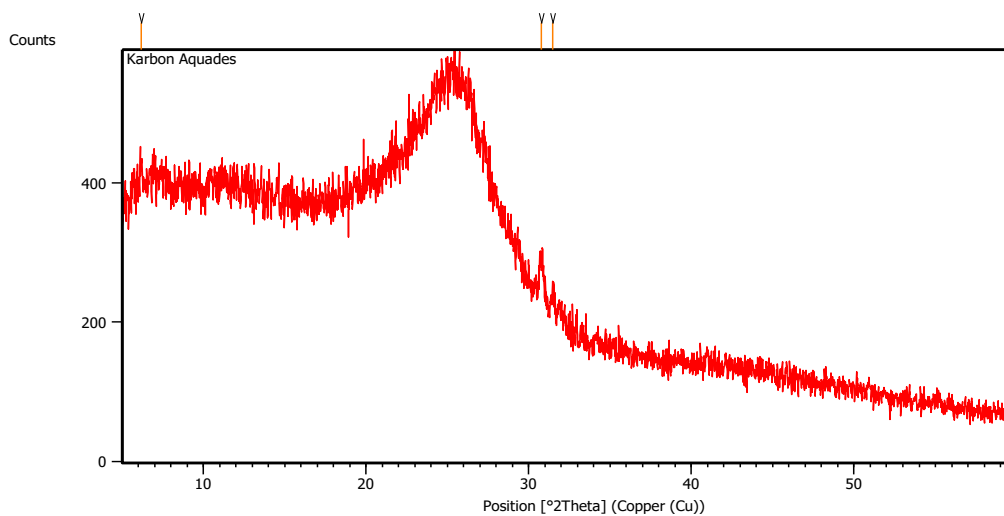


Peak List:

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
6.0662	26.29	0.8029	14.57004	18.93
25.5465	138.89	0.0900	3.48405	100.00
30.8245	87.38	0.2676	2.90085	62.92

c. Karbon HCl 0 M (Aquades)

Main Graphics, Analyze View



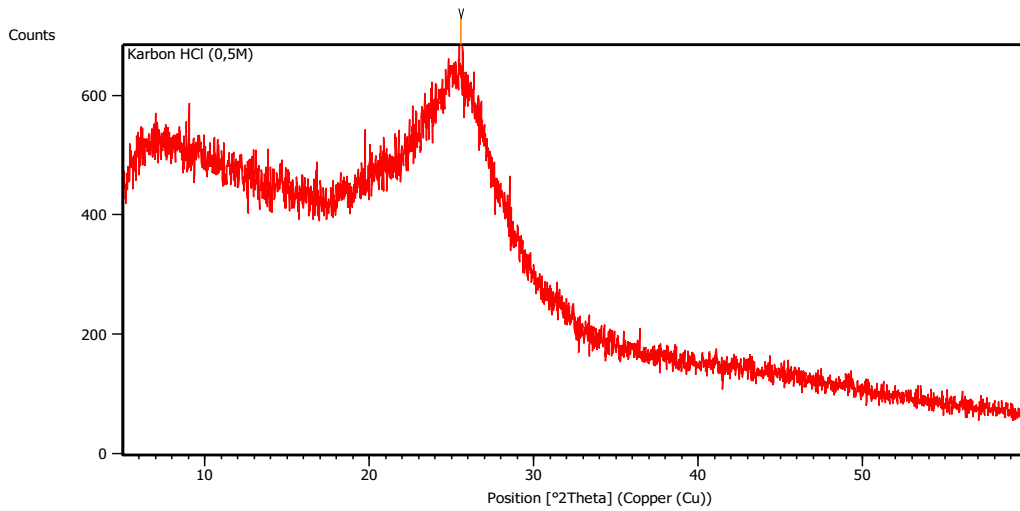
Peak List:

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
--------------------------------	--------------	-------------------------------------	----------------------------	---------------

6.1837	30.06	0.9368	14.29341	61.41
30.7692	48.95	0.2676	2.90594	100.00
31.4785	24.30	0.2007	2.84206	49.64

d. Karbon HCl 0.5 M

Main Graphics, Analyze View:

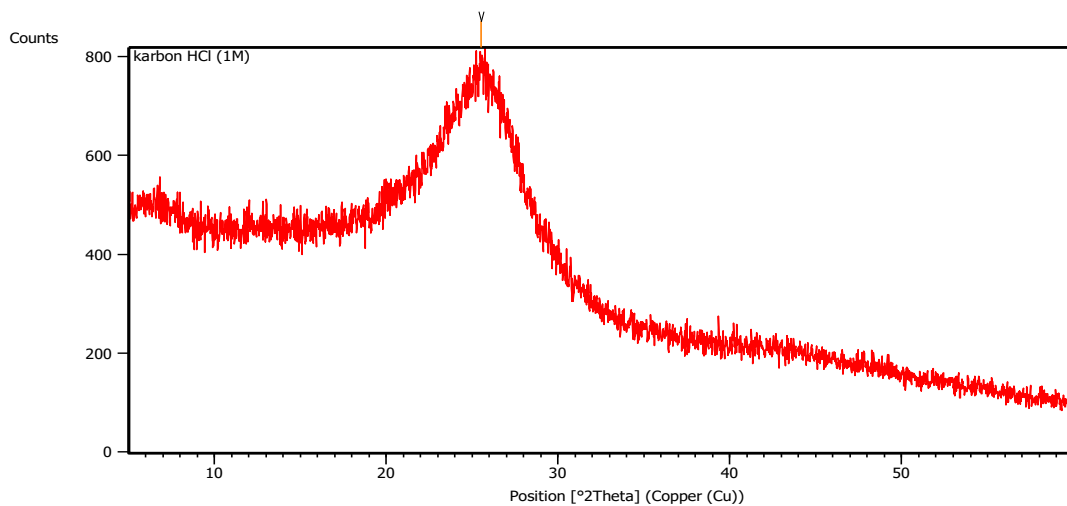


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.5465	115.79	0.0900	3.48405	100.00

e. Karbon HCl 1 M

Main Graphics, Analyze View:

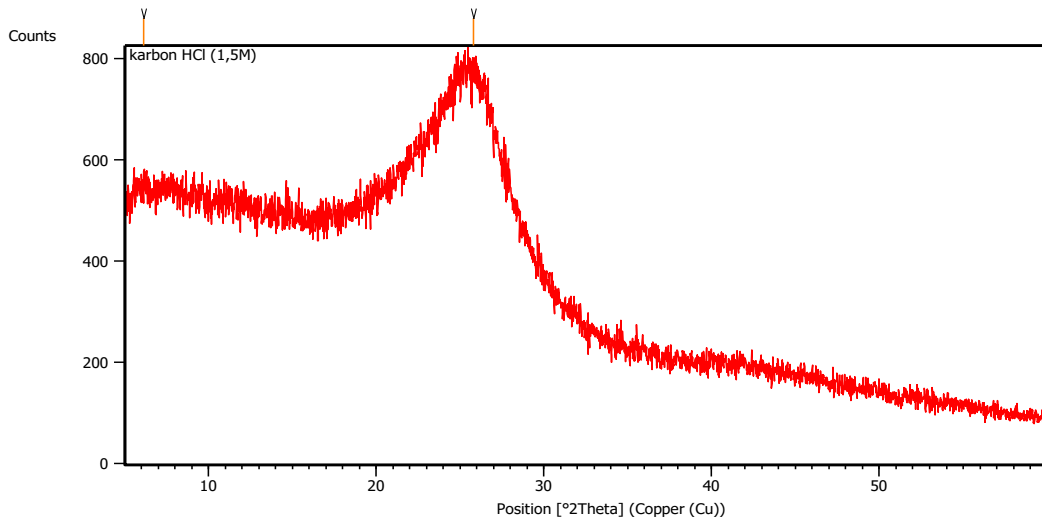


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.5329	109.13	0.8160	3.48588	100.00

f. Karbon HCl 1.5 M

Main Graphics, Analyze View:

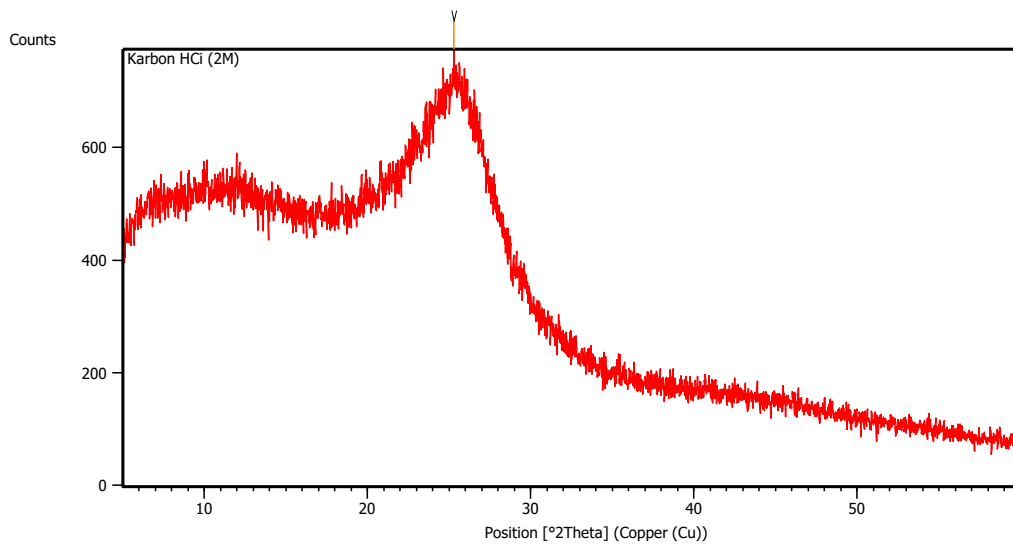


Peak List:

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
6.1083	20.23	0.9792	14.45770	19.23
25.7873	105.18	0.0900	3.45206	100.00

g. Karbon HCl 2 M

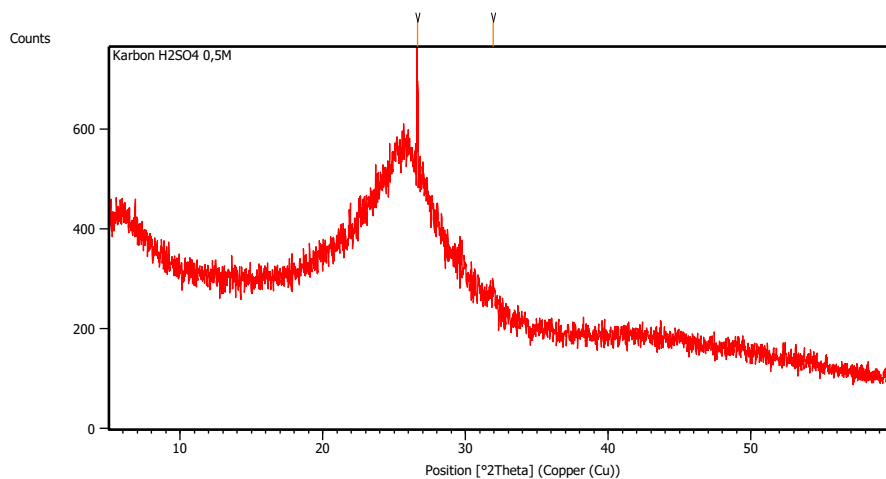
Main Graphics, Analyze View:



Peak List:

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
25.3056	103.44	0.0900	3.51666	100.00

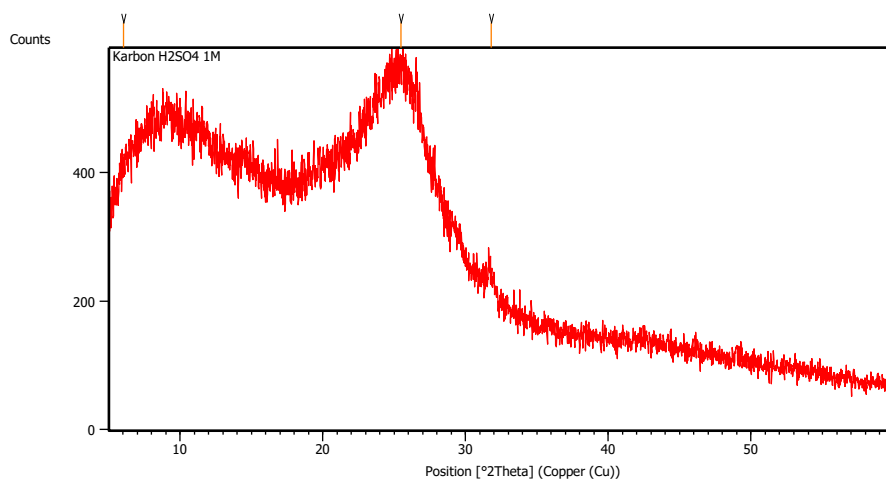
Karbon + H₂SO₄ 0,5 M



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.6196	183.10	0.1004	3.34875	100.00
31.9470	33.48	0.5353	2.80145	18.28

5. Karbon + H₂SO₄ 1 M

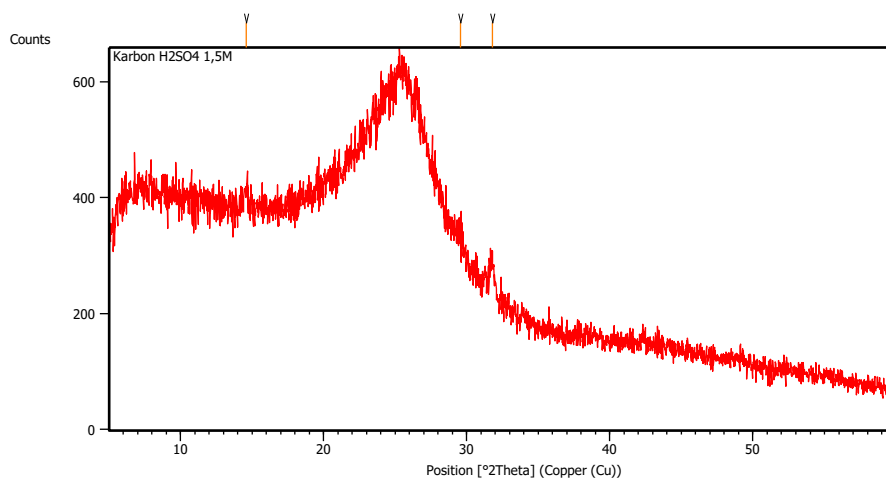


Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.0108	18.47	0.8029	14.70414	20.69

25.4731	89.25	0.6691	3.49681	100.00
31.7843	28.60	0.4015	2.81541	32.05

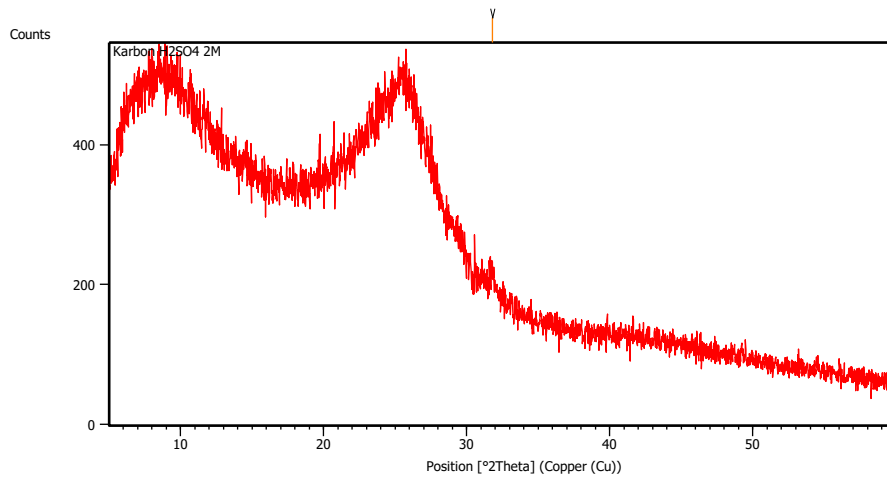
6. Karbon + H₂SO₄ 1,5 M



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.5821	32.43	0.4015	6.07467	62.79
29.5826	21.37	0.8029	3.01974	41.38
31.8156	51.65	0.3011	2.81272	100.00

7. Karbon + H₂SO₄ 2 M



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
31.7820	26.96	0.4896	2.81328	100.00

2. Perhitungan Kristal: Jarak Antar Layer (d), Ukuran Tinggi Kristalit (Lc)

a. Karbon 400°C

Diket =

$K_c = 0.9$

$\lambda = 1.54 \text{ \AA}$

$\theta = 12.78^\circ$

$\beta = 0.077 \text{ rad}$

Ditanya =

Lc...? d...?

Jawab =

$$\begin{aligned}
 Lc &= \frac{K_c \lambda}{\beta \cos \theta} \\
 &= \frac{0.9 \times 1.54}{0.077 \times \cos 12.78^\circ} \\
 &= \frac{1.386}{0.075} \\
 &= 18.48 \text{ \AA} \\
 d &= \frac{\lambda}{2 \sin \theta}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1.54}{2 \times \sin 12.78^\circ} \\
&= 3.48 \text{ \AA}
\end{aligned}$$

b. Karbon HCl 0 M (Aquades)

Diket =

Kc = 0.9

λ = 1.54 \AA

θ = 12.62°

β = 0.071 rad

Ditanya =

Lc...? d...?

Jawab =

$$\begin{aligned}
Lc &= \frac{K_c \lambda}{\beta \cos \theta} \\
&= \frac{0.9 \times 1.54}{0.071 \times \cos 12.62^\circ} \\
&= \frac{1.386}{0.069} \\
&= 20.08 \text{ \AA} \\
d &= \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \\
&= \frac{1.54}{2 \times \sin 12.762^\circ} \\
&= 3.53 \text{ \AA}
\end{aligned}$$

c. Karbon HCl 0.5 M

Diket =

Kc = 0.9

λ = 1.54 \AA

θ = 12.73°

β = 0.071

Ditanya =

Lc...? d...?

Jawab =

$$\begin{aligned}
Lc &= \frac{K_c \lambda}{\beta \cos \theta} \\
&= \frac{0.9 \times 1.54}{0.073 \times \cos 12.73^\circ} \\
&= \frac{1.386}{0.071} \\
&= 19.52 \text{ \AA} \\
d &= \frac{\lambda}{2 \sin \theta}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1.54}{2 \times \sin 12.73^\circ} \\
&= 3.49 \text{ \AA}
\end{aligned}$$

d. Karbon HCl 1 M

Diket =

$$K_c = 0.9$$

$$\lambda = 1.54 \text{ \AA}$$

$$\theta = 12.75^\circ$$

$$\beta = 0.076 \text{ rad}$$

Ditanya =

Lc...? d...?

Jawab =

$$\begin{aligned}
L_c &= \frac{K_c \lambda}{\beta \cos \theta} \\
&= \frac{0.9 \times 1.54}{0.076 \times \cos 12.75^\circ} \\
&= \frac{1.386}{0.074} \\
&= 18.73 \text{ \AA}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d &= \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \\
&= \frac{1.54}{2 \times \sin 12.75^\circ} \\
&= 3.49 \text{ \AA}
\end{aligned}$$

e. Karbon HCl 1.5 M

Diket =

$$K_c = 0.9$$

$$\lambda = 1.54 \text{ \AA}$$

$$\theta = 12.73^\circ$$

$$\beta = 0.08 \text{ rad}$$

Ditanya =

Lc...? d...?

Jawab =

$$\begin{aligned}
L_c &= \frac{K_c \lambda}{\beta \cos \theta} \\
&= \frac{0.9 \times 1.54}{0.08 \times \cos 12.73^\circ} \\
&= \frac{1.386}{0.078} \\
&= 17.77 \text{ \AA}
\end{aligned}$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1.54}{2 \times \sin 12.73^\circ} \\
&= 3.49 \text{ \AA}
\end{aligned}$$

f. Karbon HCl 2 M

Diket =

$K_c = 0.9$

$\lambda = 1.54 \text{ \AA}$

$\theta = 12.65^\circ$

$\beta = 0.082 \text{ rad}$

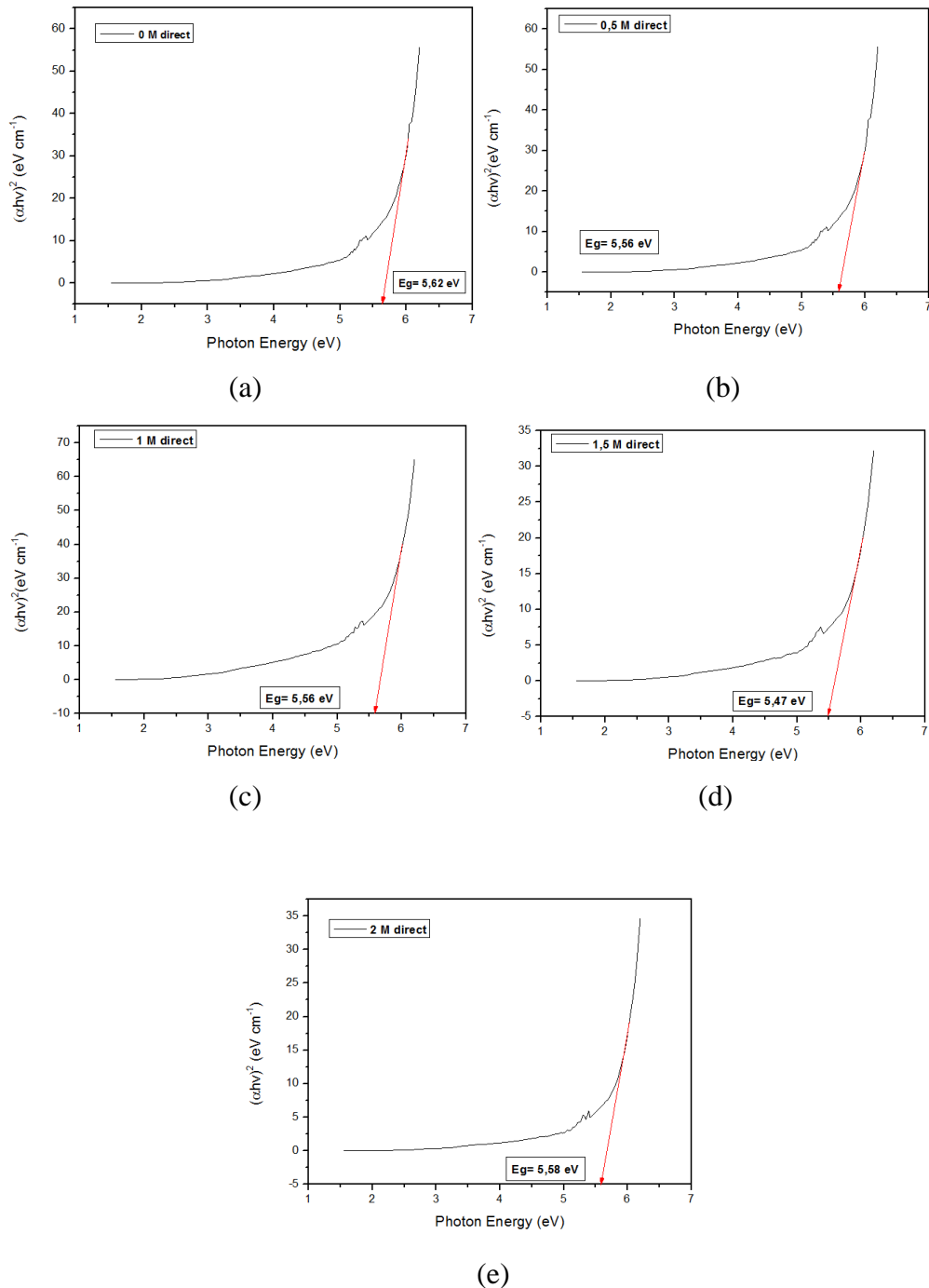
Ditanya =

Lc...? d...?

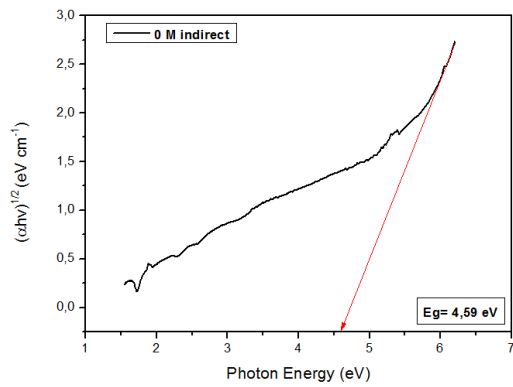
Jawab =

$$\begin{aligned}
Lc &= \frac{K_c \lambda}{\beta \cos \theta} \\
&= \frac{0.9 \times 1.54}{0.082 \times \cos 12.65^\circ} \\
&= \frac{1.386}{0.08} \\
&= 17.33 \text{ \AA} \\
d &= \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \\
&= \frac{1.54}{2 \times \sin 12.65^\circ} \\
&= 3.52 \text{ \AA}
\end{aligned}$$

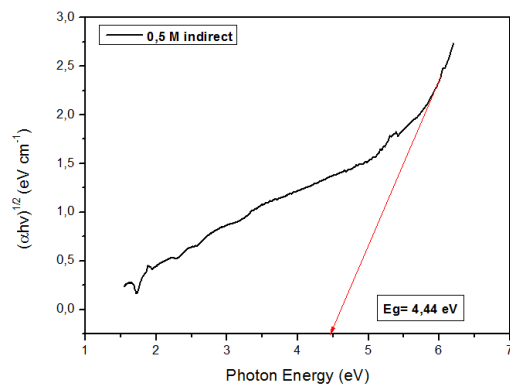
Grafik hasil perhitungan energi gap menggunakan metode Tauc Plot



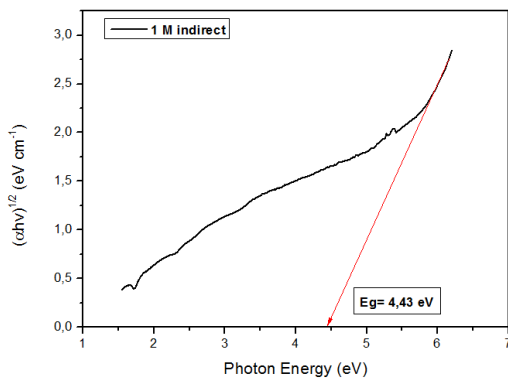
Gambar 4.5 Plot $(\alpha h\nu)^2$ sebagai fungsi energi foton untuk menentukan energi gap *direct* karbon dengan penambahan (a) aquades (b) H_2SO_4 0,5 M (c) H_2SO_4 1 M (d) H_2SO_4 1,5 M (e) H_2SO_4 2 M



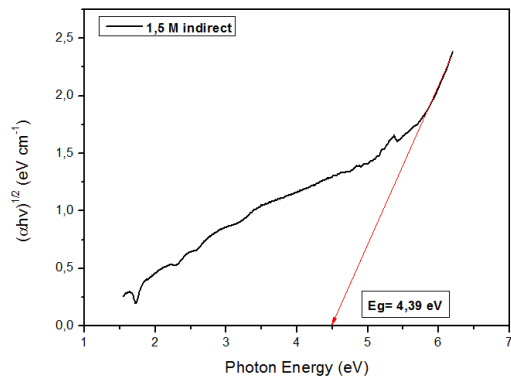
(a)



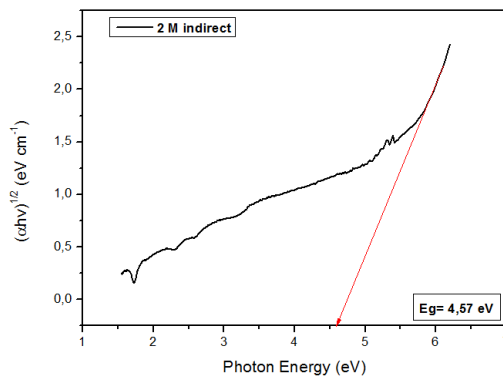
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar Plot $(\alpha hv)^{1/2}$ sebagai fungsi energi foton untuk menentukan energi gap *indirect* karbon dengan penambahan (a) aquades (b) H_2SO_4 0,5 M (c) H_2SO_4 1 M (d) H_2SO_4 1,5 M (e) H_2SO_4 2 M