



TESIS - SF142501

**ANALISIS STRUKTUR DAN KONSENTRASI
ORBITAL HIBRIDA sp^2 LAPISAN TIPIS
KARBON AMORF DARI NIRA SIWALAN**

MUKARROMAH
NRP 01111750010007

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Darminto, M.Sc

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MATERIAL
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



TESIS - SF142501

**STRUCTURAL ANALYSIS AND sp^2
HYBRIDIZED ORBITAL CONCENTRATIONS
OF AMORPHOUS CARBON THIN FILMS
FROM PALMYRA SAP**

MUKARROMAH
NRP 01111750010007

SUPERVISOR
Prof. Dr. Darminto, M.Sc

MASTER PROGRAMME
FIELD OF CERAMIC MATERIAL
DEPARTEMENT OF PHYSIC
FACULTY OF SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Sains (M.Si)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Mukarromah

NRP: 01111750010007

Tanggal Ujian : 15 Juli 2019

Periode Wisuda : September 2019

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Darminto, M.Sc
NIP.19600303198701.1.002

(Pembimbing)

2. Prof. Dr. Suasgoro
NIP.19550210 198010.1.001

(Penguji)

3. Dr. Yoyok Cahyono, M.Si
NIP.19630127 199002.1.003

(Penguji)

Kepala Departemen Fisika

Fakultas Sains

Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.
NIP.19690904 199203.1.003

ANALISIS STRUKTUR DAN KONSENTRASI ORBITAL HIBRIDA sp^2 LAPISAN TIPIS KARBON AMORF DARI NIRA SIWALAN

Nama : Mukarromah
NRP : 01111750010007
Pembimbing : Prof. Dr. Darminto, M.Sc

Abstrak

Material berbasis karbon, khususnya lapisan karbon amorf telah diteliti secara intensif untuk digunakan sebagai piranti *solar cell*. Lapisan karbon amorf dari nira, legen dan gula siwalan disintesis dengan proses karbonisasi sampel yang sebelumnya telah dipanaskan dan diaduk sampai membentuk karamel pada suhu 250°C selama 2 jam. Kemudian sampel tersebut dipanaskan lebih lanjut pada suhu 400°C dan 600°C selama 2 jam. Sampel yang telah dipanaskan ditumbuk dan dicuci menggunakan aquades kemudian dikeringkan. Setiap sampel dilarutkan ke dalam larutan, variasi larutan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquades dan DMSO. Proses eksfoliasi dilakukan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 2 jam dan disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 30 menit. Lapisan karbon amorf dideposisi dengan metode *spin coating* di atas substrat ITO dengan kecepatan 2000 rpm selama 50 detik. Hasil uji FTIR menunjukkan adanya ikatan =C-H , C-O , C-H , O-H , $\text{C=C } sp^2$, dan $\text{C=C } sp$ pada sampel dengan pelarut aquades. Sedangkan pada sampel dengan pelarut DMSO terbentuk ikatan gugus fungsi =C-H , C-O , $\text{C=C } sp^2$, $\text{C=C } sp$, O-H , S-H , SO_2 , S-O dan $\text{C-H } sp^3$. Struktur morfologi lapisan karbon amorf berbentuk bongkahan dan nodular. Nilai konduktivitas lapisan karbon amorf berada sekitar 0.04 S/m - 0.09 S/m . Nilai energi gap yang dihasilkan masuk dalam rentang bahan semikonduktor yaitu 0.35 eV – 1.01 eV . Sifat optik dari karbon amorf yang dihasilkan dari nira, legen dan gula siwalan memiliki daya serap pada panjang gelombang cahaya ultraviolet.

STRUCTURAL ANALYSIS AND sp^2 HYBRIDIZED ORBITAL CONCENTRATIONS OF AMORPHOUS CARBON THIN FILMS FROM PALMYRA SAP

Nama : Mukarromah
NRP : 01111750010007
Pembimbing : Prof. Dr. Darminto, M.Sc

Abstract

Carbon-based materials, especially amorphous carbon thin films have been intensively studied to be used as solar cell devices. The amorphous carbon thin films from sap, legen and brown sugar of palmyra is synthesized by the carbonization process of samples that have previously been heated and distilled to form caramel at temperature of 250 ° C for 2 hours. Then the sample is heated further at 400 ° C and 600 ° C for 2 hours. The sample washed using distilled water and then dried. Each sample was dissolved in aquades and DMSO. The exfoliation process was carried out using an ultrasonic cleaner for 2 hours and centrifuged at 4000 rpm for 30 minutes. The amorphous carbon thin film was deposited using the spin coating method on the ITO substrate at a speed of 2000 rpm for 50 seconds. The FTIR test results showed the existence of bonds =C-H, C-O, C-H, O-H, C=C sp^2 , and C=C sp in samples with aquadest. Whereas in the sample with DMSO a functional group bond is formed =C-H, C-O, C=C sp^2 , C=C sp O-H, S-H, SO₂, S-O and C-H sp^3 . The morphological structure of amorphous carbon thin films is shaped like lumps and nodules. The conductivity value of the amorphous carbon thin films is around 0.04 S/m-0.09 S/m. The resulting gap energy value is in the range of semiconductor materials, which is 0.35 eV - 1.01 eV. The optical absorption of amorphous carbon produced from the sap, legen dan brown sugar of palmyra has been at wavelengths of ultraviolet light.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis di jurusan Fisika Fakultas Sains ITS dengan judul:

“Analisis Struktur dan Konsentrasi Orbital Hibrida sp^2 Lapisan Tipis Karbon Amorf dari Nira Siwalan”

Penulis menyadari bahwa terselesainya penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Darminto M.Sc selaku dosen pembimbing yang sangat luar biasa dalam memberi dukungan, bimbingan, dan wawasan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis.
2. Bapak Prof. Dr. Suasgoro dan Bapak Dr. Yoyok Cahyono selaku dosen penguji sidang Tesis yang telah memberikan pemahaman lebih mengenai Tesis.
3. Kedua orang tua tercinta yang telah memberi pengajaran dan pemahaman terbaik bagi penulis sejak kecil sampai dewasa.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng dan Prof. Dr. Bagus Jaya Santosa, selaku Ketua Jurusan dan Ketua Prodi S2 Jurusan Fisika Fakultas Sains ITS yang telah memberikan kemudahan sarana selama kuliah sampai terselesainya Tesis ini.
5. Teman satu bimbingan dan seperjuangan yaitu Diajeng Indraswary P., Vera Laviara M., dan Novita Sari, terimakasih atas semangat dan perjuangan yang telah kita lewati dalam menyelesaikan Tesis ini.
6. Segenap teman-teman S2 fisika yang telah memberikan dukungan terbaik untuk penulis.
7. Teman-teman laboratorium material maju atas kerjasama dan bantuannya selama penelitian dan penulisan Tesis ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini terdapat kesalahan. Sehingga penulis meminta kritik dan saran pembaca yang dapat membantu untuk menyempurnakan tesis ini. Akhir kata semoga Tesis ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin ya Rabbal ‘alamiin.

Surabaya, Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II	5
LANDASAN TEORI	5
2.1 Siwalan	5
2.2 Karbon Amorf	7
2.3 <i>Photo Emission Spectroscopy</i>	10
2.4 <i>Fourier Transfrom Infrared Spectroscopy</i>	12

BAB III	15
METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Alat dan bahan	15
3.1.1 Alat	15
3.1.2 Bahan.....	15
3.2 Metodologi Penelitian.....	15
3.2.1 Pembuatan Larutan Karbon.....	15
3.2.2 Pembuatan Lapisan Tipis Karbon	16
3.3 Pengujian Sampel.....	16
3.3.1 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	16
3.3.2 Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	16
3.3.3 Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	17
3.3.4 Pengujian <i>Photo Emission Spectroscopy</i> (PES)	17
3.3.5 Pengujian <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	17
3.3.6 Pengujian UV-Vis	17
3.3.6 Pengujian Konduktivitas dan Energi Gap (FPP).....	18
3.4 Diagram alir penelitian.....	19
BAB IV	21
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Analisis Data Difraksi.....	21
4.2 Analisis Ikatan Gugus Fungsi	23
4.3 Analisis Ukuran Partikel	29
4.4 Analisis Struktur Morfologi	32

4.5 Analisis Konsentrasi Orbital Hibrida sp^2	34
4.6 Analisis Konduktivitas Listrik dan Energi Gap	37
4.7 Analisis Sifat Optik.....	39
BAB V.....	43
KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	49
BIOGRAFI PENULIS	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pohon siwalan (Silaban, 2017).....	5
Gambar 2.2	Ikatan hibridisasi sp^1 , sp^2 , sp^3	7
Gambar 2.3	Diagram fasa terner	10
Gambar 2.4	Skema proses photoemisi (Franinovic, 2012)	11
Gambar 2.5	Spektrum transmitansi inframerah nira siwalan.....	13
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	19
Gambar 4.1	Pola difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 400°C	21
Gambar 4.3	Pola difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 600 °C	23
Gambar 4.4	Spektra inframerah GS400.....	24
Gambar 4.5	Spektrum inframerah GSD400.....	26
Gambar 4.6	Spektrum inframerah GS600.....	27
Gambar 4.7	Spektrum inframerah GSD600.....	28
Gambar 4.8	Distribusi ukuran partikel LS400	31
Gambar 4.9	Distribusi ukuran partikel GSD600.....	32
Gambar 4.10	Struktur morfologi LS400	33
Gambar 4.11	Struktur morfologi GSD600.....	33
Gambar 4.12	Hasil puncak <i>fitting</i> C1s NS400.....	35
Gambar 4.13	Hasil puncak <i>fitting</i> C1s NSD400	36
Gambar 4.14	Spektrum UV-Vis sampel pada temperatur pemanasan 600 °C dan pelarut aquades	40
Gambar 4.15	Spektrum UV-Vis sampel pada temperatur pemanasan 600 °C dan pelarut DMSO.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur 400 °C dan pelarut akuades	25
Tabel 4.2 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur 400 °C dan pelarut DMSO.....	26
Tabel 4.3 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur 600 °C dan pelarut akuades	27
Tabel 4.4 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur 400 °C dan pelarut DMSO.....	28
Tabel 4.5 Data ukuran partikel hasil pengujian PSA	30
Tabel 4.6 Data hasil perhitungan konsentrasi sp^2 pada puncak C1s	37
Tabel 4.7 Data konduktivitas listrik hasil pengukuran menggunakan FPP	37
Tabel 4.8 Klasifikasi bahan berdasarkan nilai konduktivitas.....	38
Tabel 4.9 Data Energi gap hasil pengukuran menggunakan FPP	38

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN.....	49
BIODATA PENULIS	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kebutuhan energi terus meningkat seiring meningkatnya peradaban manusia serta kemajuan teknologi. Penggunaan sumber energi fosil dalam pembangkitan energi listrik masih sangat dominan, walaupun kenyataannya penggunaan energi yang tidak dapat diperbarui akan habis jika terus dieksploitasi. Hal tersebut yang menjadi dasar dan motivasi bagi para peneliti untuk menemukan energi terbarukan, salah satunya adalah tenaga surya. Potensi yang dimiliki Indonesia dalam pengembangan energi sel surya cukup baik karena letaknya berada di garis khatulistiwa.

Sel surya bekerja menggunakan energi matahari dengan mengkonversi secara langsung radiasi matahari menjadi energi listrik. Sel surya yang banyak digunakan adalah sel surya berbasis silikon yang merupakan hasil perkembangan pesat teknologi semikonduktor elektronik. Sel surya yang didominasi oleh bahan silikon, biaya konsumsinya lebih mahal dibandingkan dengan sumber energi fosil. Selain itu, kekurangan dari sel surya berbasis silikon adalah penggunaan bahan kimia berbahaya pada proses fabrikasinya.

Silikon memiliki kelompok yang sama dengan karbon dalam tabel unsur periodik. Hal ini dimungkinkan karbon memiliki kemiripan sifat dengan silikon, sehingga diharapkan karbon nantinya juga dapat dimanfaatkan dalam piranti sel surya. Karbon merupakan unsur yang sangat melimpah di bumi, tidak kurang dari 0.1% dari semua unsur di bumi merupakan karbon. Karbon dapat membentuk alotrop yang bermacam-macam, namun hanya ada dua alotrop yang ditemukan di alam sebagai mineral, yaitu: intan dan grafit. Selain keduanya merupakan alotrop sintesis, contohnya: *carbon nanotube*, karbon amorf dan *fullerene buckminster*. Intan merupakan karbon yang sangat keras dan padat, titik lebur tinggi, konduktivitas termal, isolator listrik dan transparan terhadap cahaya. Grafit memiliki sifat yang lunak, tidak transparan dan konduktor (Mahtani, 2010).

Alotrop karbon yang sedang banyak diteliti adalah karbon amorf. Karbon amorf merupakan bentuk karbon non-kristal. Struktur ikatan karbon amorf terdiri

dari orbital hibrida sp^2 dan sp^3 . Bentuk utama dari karbon menunjukkan bahwa karbon dengan konsentrasi orbital hibrida sp^3 lebih banyak maka akan cenderung bersifat seperti intan, pada orbital hibrida sp^3 setiap 4 atom karbon membentuk ikatan σ yang kuat dengan atom tetangganya sehingga tidak ada elektron bebas yang bergerak di dalamnya, hal tersebut mengakibatkan intan bersifat keras dan isolator dengan energi gap sebesar 5.5 eV. Karbon dengan konsentrasi orbital hibrida sp^2 lebih banyak akan cenderung bersifat seperti grafit. Orbital hibrida sp^2 membentuk 3 ikatan σ yang kuat dan sebuah ikatan π yang lemah sehingga dalam ikatan ini terdapat banyak elektron bebas dan mengakibatkan grafit bersifat konduktor (Robertson, 1991). Ikatan orbital hibrida pada karbon amorf sangat mempengaruhi sifat dan struktur yang dihasilkan. Sifat dan struktur pada karbon amorf dapat diubah dengan cara mengubah struktur ikatan orbital hibrida sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Pamungkas (2017) telah berhasil melakukan fabrikasi karbon amorf dari bahan alam dan menghasilkan karbon amorf dengan rentang energi gap sebagai bahan semikonduktor yaitu berkisar 0.1585 eV- 0.4873 eV. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Manage (1998) lapisan tipis a-C:H dengan menggunakan teknik deposisi *DC saddle field glow discharge* dilakukan karakterisasi menggunakan XPS dan *auger electron spectroscopy* untuk mengetahui struktur, rasio sp^2/sp^3 dan sifat optik. Mahtani (2010) telah melakukan sintesis lapisan karbon amorf dengan menggunakan teknik deposisi *Radio Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (RF-PECVD) untuk menganalisis pengaruh daya dan temperatur terhadap presentase ikatan sp^2 serta sifat optik lapisan tipis karbon. Saleh (2018) dengan metode deposisi yang sama telah melakukan sintesis lapisan karbon dengan tujuan untuk mengetahui rasio ikatan orbital hibrida sp^2 dan ikatan orbital hibrida sp^3 menggunakan pengujian FTIR.

Teknik deposisi yang telah dilakukan dalam penelitian sebelumnya cukup rumit. Dalam penelitian ini deposisi karbon dilakukan dengan menggunakan metode yang lebih mudah yaitu *spin coating*. Bahan yang digunakan untuk memperoleh karbon berasal dari bahan alam yaitu nira, legen dan gula siwalan dengan variasi pelarut yaitu aquades dan DMSO serta variasi temperatur

karbonisasi untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap konsentrasi orbital hibrida sp^2 .

1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah analisis struktur, konduktivitas dan konsentrasi orbital hibrida sp^2 yang terbentuk dalam lapisan tipis karbon amorf dari nira, legen dan gula siwalan.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur, konduktivitas dan konsentrasi orbital hibrida sp^2 yang terbentuk dalam lapisan tipis karbon amorf dari nira, legen dan gula siwalan.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan bahan alam dari nira, legen dan gula siwalan. Serbuk karbon dihasilkan dengan temperatur pemanasan 400 °C dan 600 °C. Media pelarut untuk deposisi lapisan karbon menggunakan aquades dan DMSO.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat menjadi acuan untuk mengetahui struktur yang terbentuk pada karbon yang dihasilkan dari bahan alam. Selain itu, penelitian ini juga menjadi acuan untuk mengetahui aplikasi yang tepat dalam pemanfaatan lapisan karbon dengan mengidentifikasi konsentrasi orbital hibrida sp^2 lapisan karbon amorf.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

STUDI KEPUSTAKAAN

2.1 Siwalan

Pohon siwalan yang memiliki nama latin *Borassus flabellifer* adalah sejenis palma yang tumbuh di Asia Tenggara dan Asia Selatan. Di Indonesia, pohon siwalan tumbuh di Jawa Timur dan Jawa Tengah bagian timur, Madura, Bali , Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur dan Sulawesi. Pohon siwalan di beberapa daerah disebut juga sebagai pohon siwalan (Sunda, Jawa dan Bali), lontar (Minangkabau), taal (Madura), dun tal (Saksak), jun tal (Sumbawa), tala (Sulawesi Selatan), *Borassus flabeliber* (Toraja), lontoir (Ambon), manggitu (Sumba) dan tua (Timor). Sedangkan dalam bahasa inggris disebut sebagai *Borassus flabellifer Palm* (Suroyya, 2016).



Gambar 2.1 Pohon siwalan (Silaban, 2017)

Pohon siwalan memiliki batang yang lurus dan dapat mencapai tinggi 30 m. Daunnya besar dan terkumpul di ujung batang membentuk tajuk yang membula. Helaian daun serupa kipas bundar berdiameter 1.5 m, bercabang sampai

berbagi menjari, dengan tajuk anak daun selebar 57 cm, dan sisi bawahnya berwarna putih. Tangkai daun mencapai panjang 1 m, dengan pelepah yang lebar dan hitam di bagian atasnya, sisi tangkai dengan deretan duri yang berujung dua (Efendi, 2018). Bunganya berbentuk tandan serta terdapat pohon dengan bunga jantan dan bunga betina. Buahnya bulat yang bergerombol dengan warna yang hitam saat muda hingga tua dan di dalamnya banyak berserabut, berair dan memiliki tiga biji. Buah siwalan, ketika muda memiliki batok yang lunak dan akan mengeras jika semakin tua (Ikma, dkk., 2015).

Adapun klasifikasi dari tanaman siwalan (*Borassus flabellifer*) adalah sebagai berikut (Silaban, 2017):

Kingdom : *Plantae*
Division : *Angiospermae*
Class : *Monocotyledoneae*
Ordo : *Palmae*
Family : *Palmaceae*
Genus : *Borassus*
Species : *Borassus flabellifer* Linn

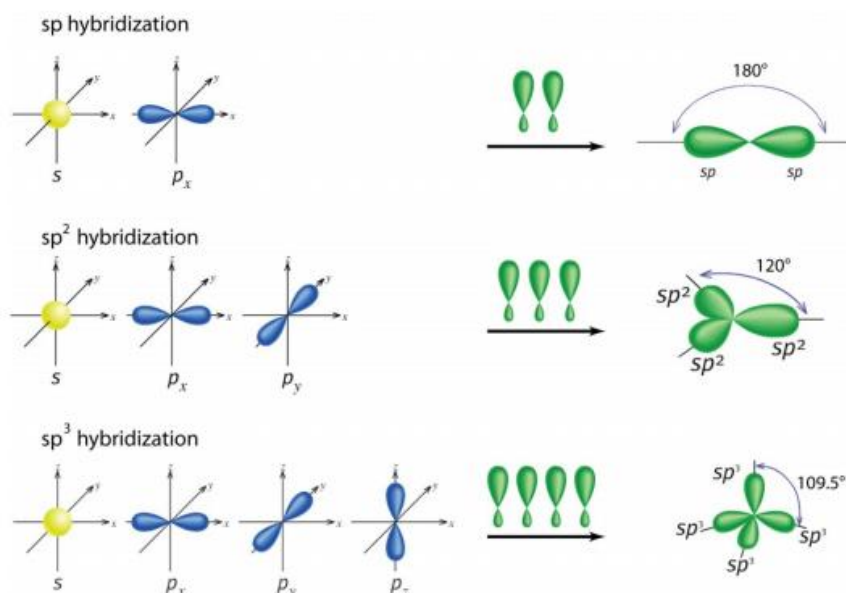
Pohon siwalan memiliki banyak manfaat mulai dari daun, batang, buah, serta tongkol bunganya (Kirana, dkk., 2016). Air nira dapat diperoleh dari pohon siwalan melalui tangkai tandan bunga yang dipotong atau disadap. Ada 2 macam tangkai tandan bunga, yaitu tangkai tandan bunga jantan dan tangkai tandan bunga betina. Sebenarnya semua tangkai bisa disadap niranya, namun yang dapat diambil niranya adalah tangkai tandan bunga jantan. Sedangkan tangkai yang betina biasanya dibiarkan tidak disadap karena dipelihara buahnya (Firmansyah, 1992).

Nira siwalan mengandung gula yang merupakan sumber karbon dan terdapat nutrisi yang cukup lengkap sebagai media pertumbuhan bagi bakteri asam laktat. Selain itu nira siwalan juga tersedia dalam jumlah yang relatif banyak dan murah harganya, tetapi belum diolah secara optimal. Nira siwalan pada keadaan segar rasanya manis, berbau harum, jernih dan tak berwarna. Rasa manis nira disebabkan oleh tingginya kadar gula (kurang lebih 12%). Nira mengandung

karbohidrat yang terdiri dari sukrosa, glukosa dan fruktosa. Nira segar tidak tahan disimpan dalam jangka waktu yang lama, hanya beberapa jam (kurang lebih 24-36 jam) sejak disadap, nira siwalan akan mengalami perubahan, yaitu ditandai dengan timbulnya gelembung dan rasanya seperti tuak atau asam (Suseno, dkk., 2000). Larutan nira yang didapatkan dari pohon siwalan dapat diolah lebih lanjut menjadi legen dan gula merah.

2.2 Karbon Amorf

Karbon merupakan golongan IV dalam tabel periodik, dapat membentuk alotrop yang berbeda-beda, misalnya; grafit, intan dan fullerenes. Sifat dari alotrop sangat bervariasi. Contohnya, intan merupakan material yang paling keras, transparan terhadap spektrum cahaya tampak dan isolator listrik, sedangkan grafit bersifat lunak, tidak tembus cahaya dan konduktor. Fullerenes, keluarga molekul karbon besar yang baru-baru ini ditemukan, stabil, terbatas, bentuk molekulnya tidak seperti jaringan intan dan grafit yang terbatas. Luasnya sifat alotrop karbon berasal dari cara orbital atom berhibridisasi ketika membentuk ikatan kimia (Manage, 1998).



Gambar 2.2 Ikatan hibridisasi sp^1 , sp^2 dan sp^3

Karbon dalam keadaan dasar memiliki konfigurasi elektron $1s^2 2s^2 2p^2$ dan mempunyai 4 kulit elektron L, contohnya 2 orbital 2s dan 2 orbital 2p. Di bawah kondisi setimbang, orbital atom 2s dan 2p dalam atom karbon dapat mengalami 3 hibridisasi yang berbeda ditandai dengan sp^3 , sp^2 , dan sp^1 (Manage, 1998).

Hibridisasi sp^3 , empat orbital hibrida sp^3 ekuivalen dibentuk dengan menggabungkan orbital 2s dan tiga orbital 2p dalam keadaan dasar karbon. Selama proses hibridisasi, salah satu dari elektron 2s mengisi kekosongan orbital 2p. Empat orbital sp^3 , dengan bentuk identik tetapi orientasi yang berbeda, diarahkan secara tetrahedral dengan sudut yang sama yaitu 109.47° . Setiap orbital sp^3 berisi satu elektron untuk berikatan. Keempat orbital hibrida sp^3 dalam atom karbon dapat membentuk empat ikatan yang tumpang tindih dengan orbital hibrida atau atom lain dalam atom-atom tetangga. Orbital molekul yang dibentuk oleh orbital sp^3 dengan orbital hibrida atau atom lain, simetris secara silindris di sepanjang garis yang menghubungkan dua inti, disebut “orbital molekul σ ” dan ikatannya disebut “ikatan σ ”. Dengan cara ini, empat sp^3 orbital hibrida dalam atom karbon membentuk empat ikatan σ dengan orbital di atom atau molekul tetangga (Manage, 1998).

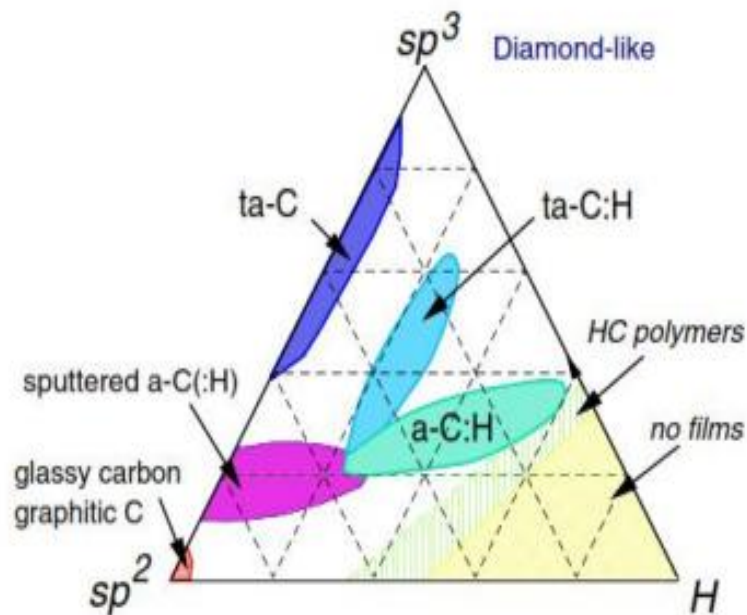
Hibridisasi sp^2 , tiga orbital sp^2 yang identik dibentuk dengan masing-masing orbital dan dipisahkan oleh sudut 120° . Masing-masing orbital sp^2 yang berisi elektron valensi tunggal dengan elektron yang tersisa ditahan dalam orbital 2p yang sumbu tegak lurus terhadap bidang yang mengandung 3 orbital sp^2 . Masing-masing dari tiga orbital sp^2 dapat membentuk ikatan σ tunggal dengan atom-atom tetangga sedangkan orbital 2p yang tersisa dapat membentuk ikatan dengan orbital 2p lain dari atom tetangga. Ikatan antara orbital 2p tegak lurus terhadap sumbu yang menghubungkan inti dua atom yang terlibat dalam ikatan. Jenis ikatan ini dikenal sebagai ikatan π . Ikatan π lebih lemah dari ikatan σ karena ada tumpang tindih orbital yang lebih besar dalam ikatan σ daripada ikatan π . Ketika atom karbon hibridisasi sp^2 bergabung, masing-masing atom karbon menggunakan orbital sp^2 nya untuk membentuk ikatan σ tunggal dengan tiga tetangga terdekatnya. Orbital 2p yang tersisa dari masing-masing atom tumpang tindih dengan orbital 2p dari masing-masing tiga tetangga terdekatnya. Ini mengarah pada ikatan terdistribusi yang terletak di seluruh bidang atom karbon.

Karena keempat elektron valensi digunakan untuk berikatan dengan atom co-planar, bidang yang berdekatan hanya disatukan oleh kekuatan Van Der Walls yang lemah. Karbon kristalin yang terikat pada jenis konfigurasi ini dikenal sebagai grafit. Struktur mikro dari ikatan π dan lemah antar planar yang terdelokasi inilah yang menyebabkan konduktivitas yang tinggi dan tidak tembus cahaya (Mahtani, 2010).

Hibridisasi sp^1 , dua orbital sp^1 diarahkan secara linier pada 180° dengan satu sama lain, dibentuk dengan menggabungkan orbital 2s dan 2p. Dua orbital 2p yang tersisa saling tegak lurus dan juga tegak lurus terhadap orbital hibrida sp^1 . Jika atom karbon hibridisasi dua sp^1 disatukan, satu ikatan σ dan dua ikatan π terbentuk menghasilkan ikatan rangkap tiga antara dua atom karbon (Manage, 1998).

Karbon amorf (a-C) adalah bentuk karbon non-kristal yang hanya memiliki tatanan struktur jarak pendek. Sementara dua bentuk kristal utama karbon menunjukkan ikatan 100% sp^3 (intan) atau 100% ikatan sp^2 (grafit), film a-C mengandung campuran ikatan orbital hibrida sp^3 dan sp^2 . Hal tersebut adalah kemampuan untuk mengontrol rasio ikatan orbital hibrida sp^3 ke sp^2 sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanik, listrik, dan optik pada karbon amorf. Selain itu, kandungan hidrogen, juga memainkan peran penting dalam menentukan sifat film (Manage, 1998).

Diagram fasa terner yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 menyatakan kandungan sp^2 , sp^3 dan hidrogen dalam karbon. Diagram fasa terner berbentuk segitiga, dimana pada puncak sebelah kiri memiliki kandungan hibridisasi sp^2 tertinggi adalah grafit atau *glassy carbon*. Puncak paling atas dalam diagram tersebut menunjukkan kandungan sp^3 tertinggi dimiliki oleh intan sedangkan puncak kanan merupakan kandungan H pada karbon. *Tetrahedral amorphous carbon* (ta-C) memiliki kandungan hibridisasi sp^3 lebih banyak dibandingkan dengan kandungan hibridisasi sp^2 . ta-C:H dan a-C:H merupakan karbon amorf yang terhidrogenasi. Letak ta-C:H pada diagram fasa terner lebih condong ke bagian atas segitiga, hal tersebut menunjukkan kandungan hibridisasi sp^3 pada ta-C:H lebih tinggi dibandingkan dengan a-C:H (Robertson, 2002).



Gambar 2.3 Diagram fasa terner

2.3 *Photo Emission Spectroscopy*

Photo emission spectroscopy (PES) merupakan *spectroscopy* yang digunakan untuk karakterisasi permukaan, yaitu menyatakan adanya unsur-unsur kimia pada permukaan serta menginformasikan sifat ikatan kimia yang terbentuk pada unsur-unsur tersebut.

Photo emission spectroscopy didasarkan pada efek fotolistrik Einstein. Prinsip dari teknik ini melibatkan pengukuran energi kinetik dari elektron (disebut *photoelectron*) yang dipancarkan oleh zat sebagai hasil dari efek fotolistrik. Efek fotolistrik merupakan fenomena fisika yang melibatkan transfer kuantum energi dari radiasi elektromagnetik–foton menuju elektron yang terletak di zat yang berbeda. Fenomena ini bergantung pada perpindahan elektron dari permukaan padatan yang diradiasi oleh energi foton yang cukup tinggi (Bednarska, 2013).

$$E_b = h\nu - E_k - W$$

Dimana :

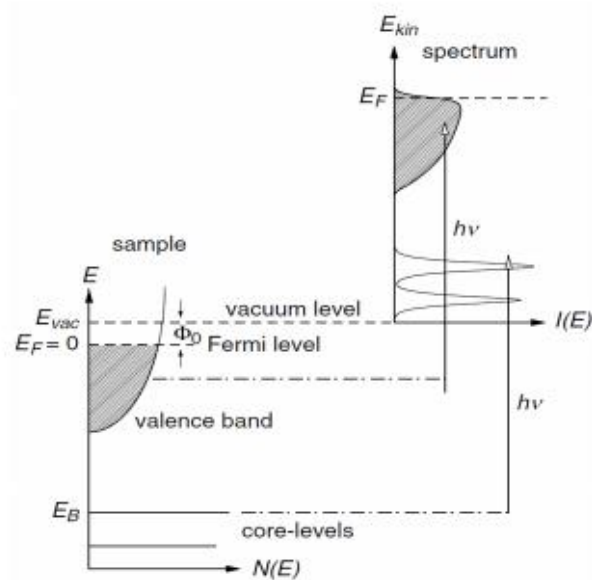
E_b = Energi ikat

$h\nu$ = Energi foton

E_k = Energi kinetik

W = Fungsi kerja

Fungsi kerja merupakan ukuran dari penghalang potensial di permukaan yang mencegah elektron valensi terlepas. Efek fotolistrik dapat digunakan untuk mengeksplorasi komposisi kimia dan keadaan kuantum permukaan material (Franinovic, 2012).



Gambar 2.4 Skema proses photoemisi (Franinovic, 2012)

Elektron dengan energi ikat E_b dapat dieksitasikan oleh energi foton $h\nu > E_b + W$ ke tingkat yang lebih tinggi. Distribusi *photoelectron* dapat diketahui dengan pengukuran tingkat energi ikat $N(E_b)$ dalam sampel, energi ikat E_b , energi Fermi E_f dan fungsi kerja W .

Elektron yang dipancarkan memperoleh energi dari foton dan energinya berkurang oleh energi ionisasi. Energi ikat dapat ditentukan dengan mengetahui energi foton dan energi kinetik dari fotoelektron dalam suatu orbital. Energi tersebut merupakan karakteristik elektron suatu unsur dan dapat digunakan untuk identifikasi. Ukuran energi ikat bergantung terhadap metode ikatan molekul pemancar elektron. Karena itu, informasi spektrum energi elektron dapat diperoleh tidak hanya dengan komposisi tetapi juga pada ikatan kimia atom, karena jenis ikatan atom mempengaruhi energi ikat elektron.

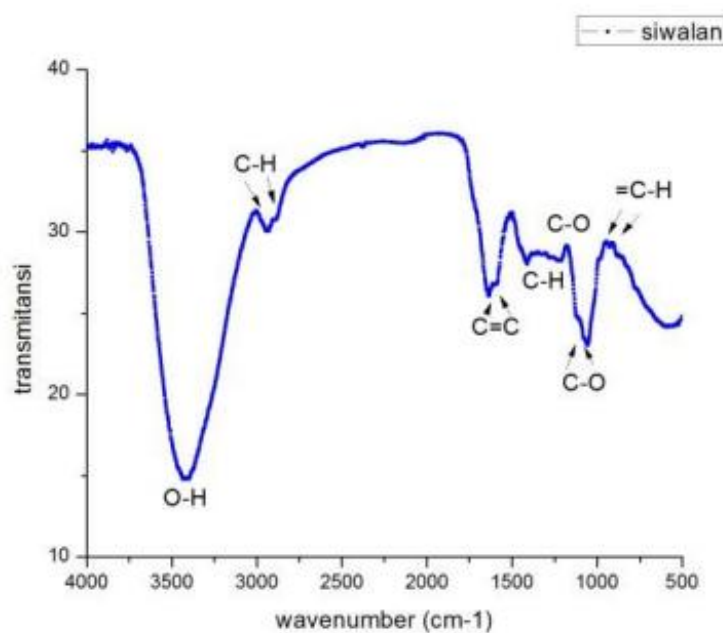
Karakteristik puncak karbon berada di kulit 1s muncul pada rentang energi ikat 283-290 eV, dan dapat dikomposisi menjadi beberapa komponen bergantung pada struktur dan unsur yang berada dalam karbon. Puncak C1s dapat membentuk berupa ikatan C-C atau ikatan karbon dengan unsur lain. Ikatan C-C memperlihatkan 3 puncak, yaitu: satu puncak dari hibridisasi sp^2 muncul pada 284.5 ± 0.30 eV yang diketahui sebagai C1s-2 dan menunjukkan hibridisasi atom sp^3 yang muncul pada 285.33 ± 0.38 eV, diketahui C1s-3, selain itu juga terdapat puncak sp^1 yang muncul pada 283 eV. Puncak dari ikatan C-O dapat muncul pada energi ikat yang tinggi daripada puncak-puncak sebelumnya, dimana setiap puncak menunjukkan tingkat ikatan yang berbeda. Puncak-puncak ini diidentifikasi sebagai C1s-4 untuk (C-O) yang muncul sekitar 285.5 eV, C1s-5 (C=O) muncul sekitar 287.7 eV dan C1s-5 untuk *carboxylic* (O=C-O) yang muncul pada puncak 290 eV (Mansour, 2011).

2.4 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*

Cahaya tampak terdiri dari beberapa rentang frekuensi elektromagnetik yang berbeda, dimana setiap frekuensi dapat dilihat sebagai warna yang berbeda. Radiasi inframerah juga mengandung beberapa rentang frekuensi tetapi tidak dapat dilihat oleh mata. Pengukuran pada spektrum inframerah dilakukan pada daerah cahaya inframerah tengah (*mid-infrared*) yaitu pada panjang gelombang 2.5-50 μm atau bilangan gelombang 4000-200 cm^{-1} . Energi yang dihasilkan oleh radiasi ini akan menyebabkan vibrasi atau getaran pada molekul. Pita absorpsi inframerah sangat khas dan spesifik untuk setiap jenis ikatan kimia dan gugus fungsi.

Daerah antara 4000-1400 cm^{-1} , merupakan daerah yang khusus untuk identifikasi gugus-gugus fungsional. Daerah ini menunjukkan absorpsi yang disebabkan oleh vibrasi (regangan) uluran. Vibrasi uluran (*stretching*) khas bagi gugus-gugus fungsi yang penting seperti O-H, N-H, dan C=O terletak pada daerah ini (Suarsa, 2016). Setiap spektrum disebabkan oleh energi yang diserap pada frekuensi tertentu dari radiasi inframerah sehingga terjadi vibrasi ikatan di dalam molekul. Beberapa spektrum sangat mudah digunakan untuk mengidentifikasi jenis ikatan tertentu dalam molekul. Daerah di sebelah kanan diagram (dari 1500-

500 cm^{-1}) biasanya mengandung bentuk absorban yang sangat kompleks. Daerah ini disebut daerah sidik jari. Spektrum inframerah merupakan plot antara transmitansi dengan frekuensi atau bilangan gelombang. Spektrum ini menunjukkan banyaknya puncak absorpsi (pita) pada frekuensi atau bilangan gelombang yang karakteristik.



Gambar 2.5 Spektrum transmitansi infamerah nira siwalan

Hasil FTIR larutan karbon dari nira siwalan dalam penelitian yang telah dilakukan Pamungkas (2017) menunjukkan bahwa ikatan utama yang terbentuk adalah C=C dan impuritasnya hanya sedikit yaitu C-O, C-H, dan O-H. Pada posisi gelombang 3412 cm^{-1} terdapat tekukan tajam O-H. Dua puncak berikutnya tidak terlalu tajam merupakan gugus fungsi alkana yang merupakan ikatan C-H dengan posisi gelombang 2929.97 cm^{-1} dan 2893.32 cm^{-1} . Selanjutnya merupakan gugus fungsi dari C=C. Ikatan rangkap dari karbon ini merupakan ikatan utama dari nira siwalan. Puncaknya cukup tajam dengan posisi gelombang pada 1629.90 cm^{-1} dan 1589.40 cm^{-1} . Pada posisi pertama bentuk senyawa yang dihasilkan merupakan alkena sedangkan posisi kedua merupakan cincin aromatik yang intensitasnya berubah-ubah. Pada puncak kelima juga terdapat dengan posisi bilangan gelombang 1408.08 cm^{-1} . Kemudian terdapat tiga puncak, yang mana puncak

pertama tidak terlalu tajam sedangkan puncak kedua dan ketiga cukup tajam yang merupakan gugus fungsi C-O. Gugus fungsi ini terletak pada rentang 1050-1300 cm^{-1} . Posisi ketiga puncak ini berturut-turut adalah 1213.27 cm^{-1} , 1076.32 cm^{-1} dan 1057.03 cm^{-1} . Selain itu alkena juga dapat dijumpai pada dua puncak terakhir yang terletak pada posisi 981.80 cm^{-1} dan 925.86 cm^{-1} . Alkena merupakan ikatan antara =C-H yang merupakan tekukan keluar bidang.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mortar, tabung reaksi, *beaker glass*, neraca digital O'haus, spatula, kertas saring, kaca ITO, *furnace carbolite 1400*, *crucible 50 ml*, *ultrasonic cleanser*, *plastic wrap*, *sentrifuge*, *magnetic stirrer* dan *spin coating*. Sedangkan alat yang digunakan untuk karakterisasi adalah XRD (*X-Ray Diffraction*), FTIR (*Fourier Transform Infrared*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), PSA (*Particle Size Analyzer*), spektroskopi UV-Vis, PES (*Photoemission Electron Spectroscopy*) dan FPP (*Four Point Probe*).

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu nira siwalan, legen siwalan, gula siwalan, larutan dimetil sulfoksida (DMSO) dan aquades.

3.2 Metodologi Penelitian

3.2.1 Pembuatan Larutan Karbon

Pembuatan larutan karbon dilakukan dengan memanaskan cairan nira dan legen dengan temperatur pemanasan 100 °C dan diaduk dengan kecepatan 500 rpm sampai terbentuk karamel menggunakan *magnetic stirrer*. Pemanasan ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air dari larutan nira dan legen siwalan. Karamel yang terbentuk dari larutan nira, legen dan gula siwalan dipanaskan dengan menggunakan *furnace* pada temperatur 250 °C selama 2 jam, kemudian dipanaskan lebih lanjut dengan temperatur kalsinasi 400 °C dan 600 °C selama 2 jam. Pemanasan ini dilakukan bertujuan untuk membentuk karbon. Karbon hasil dari pemanasan tersebut kemudian ditumbuk dan disaring/dicuci dengan menggunakan aquades sampai jernih untuk menghilangkan impuritas dan mengurangi kadar KCl yang terkandung di dalam karbon. Serbuk karbon yang telah dicuci kemudian diultrasonik menggunakan variasi larutan (aquades dan

DMSO) dengan perbandingan serbuk karbon dan larutan (1 gram:10 ml) selama 2 jam. Pemisahan larutan dan endapan serbuk karbon dilakukan menggunakan alat *sentrifuge* dengan kecepatan 4000 rpm selama 30 menit.

3.2.2 Pembuatan Lapisan Tipis Karbon

Substrat yang digunakan dalam proses deposisi lapisan tipis karbon ini adalah material kaca dengan lapisan konduktif ITO yang dipotong dengan ukuran 1x1 cm². Hal yang perlu diperhatikan sebelum proses deposisi adalah pembersihan kaca dengan tujuan untuk menghilangkan impuritas yang melekat pada substrat karena dapat mempengaruhi sifat-sifat dari sampel hasil deposisi. Proses pembersihan substrat dilakukan dengan mencuci substrat dengan 50 ml alkohol menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 1 jam. Kemudian substrat tersebut dikeringkan di atas *hotplate* pada suhu 40 °C selama 30 menit. Larutan karbon dari nira, legen dan gula siwalan dilapiskan di atas substrat yang telah dibersihkan menggunakan metode *spin coating* dengan kecepatan 2000 rpm selama 50 detik.

3.3 Pengujian Sampel

3.3.1 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan fasa dari karbon dengan mengamati pola pembiasan cahaya sebagai akibat dari berkas cahaya yang dibiaskan oleh material yang memiliki susunan atom pada kisi kristalnya.

Pengujian XRD dilakukan di laboratorium Teknik Material dan Metalurgi ITS dalam bentuk serbuk dengan menggunakan sudut pendek (0°-60°) dan panjang gelombang Cu-K α sebesar 1,54060 Å. Pengujian ini akan menghasilkan data berupa besar sudut dan intensitas yang kemudian dapat dibentuk menjadi grafik pola difraksi dan dianalisis fasa yang terbentuk dari karbon.

3.3.2 Pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR)

Karakterisasi struktur dilakukan dengan pengujian FTIR untuk menganalisa atau mengidentifikasi ikatan gugus fungsi yang terbentuk dalam

karbon. Uji FTIR dilakukan di laboratorium Kimia ITS menggunakan spektrofotometer FTIR dengan rentang bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} . Analisa kualitatif meliputi identifikasi jaringan ikatan hibrid sp^2 dan sp^3 dari ikatan C-C dan C-H pada lapisan a-C.

Pengukuran FTIR ini akan menghasilkan grafik pola puncak-puncak dari interaksi setiap molekul dalam material uji yang menyerap energi spektrum inframerah yang ditunjukkan dengan grafik hubungan transmitansi (%T) terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}).

3.3.3 Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Analisa morfologi permukaan lapisan tipis dilakukan dengan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Prinsip SEM didasarkan pada interaksi elektron dengan permukaan bahan dari ukuran nanometer-puluhan micrometer. Pengujian SEM dilakukan di laboratorium Teknik Mesin ITS dengan menghasilkan gambar morfologi permukaan dan ketebalan lapisan.

3.3.4 Pengujian *Photoemission Electron Spectroscopy* (PES)

Karakterisasi struktur lapisan dilakukan dengan pengujian PES untuk mengidentifikasi rasio sp^3/sp^2 yang terbentuk dalam lapisan karbon. Pengujian ini dilakukan di *Synchrotron Light Reseach Institute Thailand Beamline 3.2*. Pengujian PES menghasilkan grafik hubungan energi ikat (eV) terhadap intensitas.

3.3.5 Pengujian *Particle Size Analyser* (PSA)

Pengujian PSA dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel karbon. Pengujian ini dilakukan di laboratorium Fisika ITS dengan menghasilkan data ukuran partikel serta grafik distribusi ukuran partikel.

3.3.6 Pengujian UV-Vis

Karakterisasi struktur karbon juga dapat dilakukan dengan Spektroskopi UV-Vis. Pengujian UV-Vis dilakukan bertujuan untuk mengetahui sifat optik dan energi gap pada lapisan tipis karbon amorf. Pengujian dilakukan di Laboratorium Fisika ITS.

3.3.7 Pengukuran Konduktivitas dan Energi Gap (FPP)

Pengukuran konduktivitas listrik dan energi dilakukan dengan menggunakan metode *four point probe* (FPP). Metode menggunakan alat dengan 4 probe yang dihubungkan dengan 2 multimeter, dimana masing-masing multimeter akan menunjukkan keluaran berupa arus dan tegangan listrik. Pada pengukuran ini luasan ukuran sampel adalah $1 \times 1 \text{ cm}^2$ sehingga jarak antar probe sebesar 0.25 cm. Dari hasil pengukuran arus dan tegangan listrik tersebut dapat ditentukan nilai konduktivitas listrik dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \text{dengan} \quad \rho = 2\pi s \left(\frac{V}{I} \right)$$

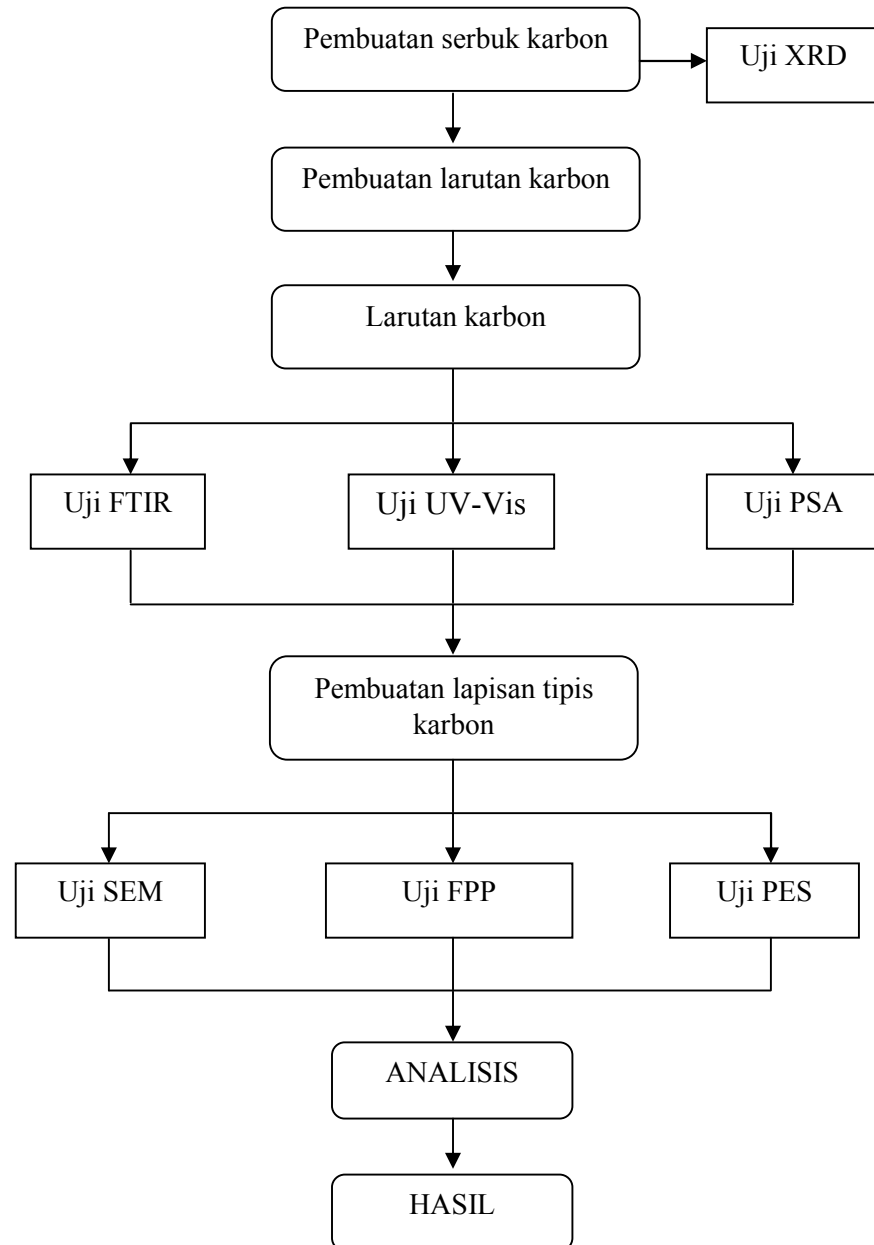
Sedangkan pengukuran energi gap dapat ditentukan dengan mengukur arus dan tegangan pada variasi temperatur $30^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$ dengan selang 5°C . Perhitungan energi gap menggunakan persamaan:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \frac{E_g}{2K_b} \left(\frac{1}{T} \right)$$

Daftar Kode Sampel:

Kode Sampel	Keterangan
NS	Nira siwalan dengan pelarut aquades
NSD	Nira siwalan dengan pelarut DMSO
LS	Legen siwalan dengan pelarut aquades
LSD	Legen siwalan dengan pelarut DMSO
GS	Gula siwalan dengan pelarut aquades
GSD	Gula siwalan dengan pelarut DMSO

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

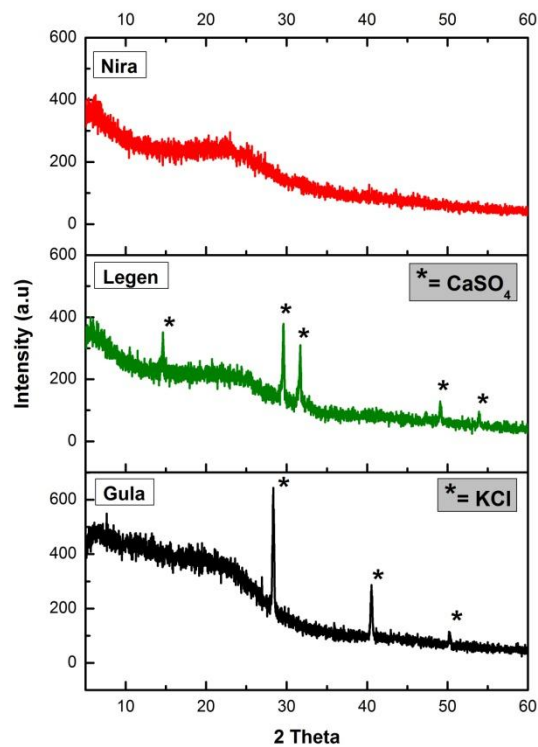
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data Difraksi

Identifikasi fasa pada serbuk karbon yang dihasilkan dari nira, legen dan gula siwalan dilakukan dengan menggunakan pengujian *x-ray diffraction* pada rentang sudut 0° - 60° . Pola difraksi dari sampel serbuk karbon dengan temperatur pemanasan 400°C ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pola Difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 400°C

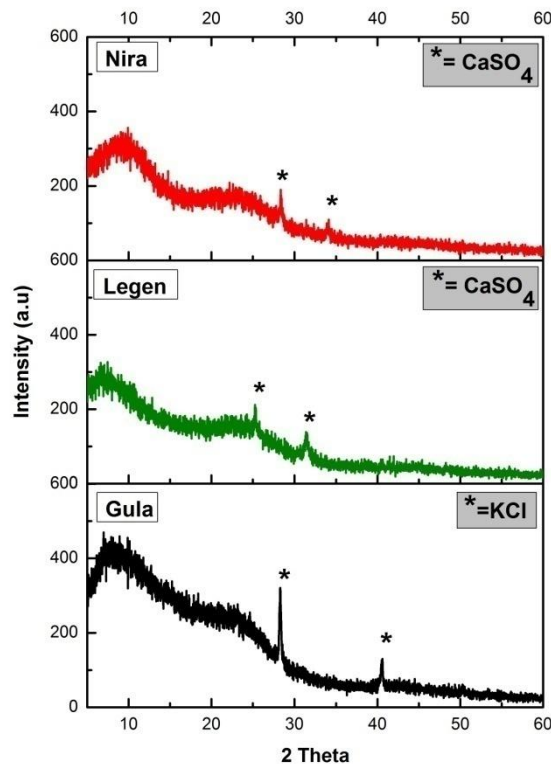
Pola difraksi dari sampel dengan temperatur pemanasan 400°C menunjukkan adanya puncak yang lebar pada rentang 15 - 30° dan beberapa puncak kecil yang tajam pada sampel legen dan gula siwalan. Pola difraksi yang lebar tersebut merupakan karakter dari karbon amorf, ukuran kristalnya akan semakin kecil seiring dengan semakin lebarnya puncak. Fasa karbon amorf dapat diidentifikasi dengan pola puncak difraksi yang tidak teratur dan terbentuknya

pola difraksi yang lebar. Puncak-puncak kecil yang tajam dianalisis menggunakan *software Match!* dan teridentifikasi sebagai pengotor yang berupa KCl (COD: 00-004-0567) terbentuk pada $2\Theta = 28.34^\circ, 40.54^\circ, 50.27^\circ$ dan 58.63° dengan bidang kristal (200), (220), (222) dan (400) untuk sampel gula. Puncak-puncak KCl dan CaSO_4 yang terbentuk pada sampel merupakan garam yang mudah larut dalam air sehingga dapat dihilangkan dengan cara membilas sampel dengan aquades. Sedangkan sampel legen terdapat pengotor berupa CaSO_4 yang terbentuk pada posisi dengan no COD 00-073-1942. Pengotor berupa CaSO_4 terbentuk pada posisi $2\Theta = 14.62^\circ, 29.57^\circ, 31.66^\circ, 49.06^\circ$ dan 53.82° dengan bidang kristal (100), (111), (102), (212), dan (221).

Kandungan KCl dan CaSO_4 pada sampel ini diindikasikan karena bahan dasar yang digunakan berasal dari bahan alam sehingga memiliki banyak kandungan mineral. Unsur hara dan jenis tanah tempat tumbuhnya pohon siwalan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kandungan unsur dalam sampel karena kandungan unsur yang terkandung dalam tanah dapat diserap oleh akar dan didistribusikan ke seluruh bagian pohon. Berdasarkan jumlah yang diperlukan tanaman, unsur hara dibagi menjadi dua golongan, yakni unsur hara makro dan mikro. Unsur hara makro merupakan unsur hara esensial yang diperlukan dalam jumlah banyak. Unsur hara mikro adalah unsur hara esensial yang diperlukan dalam jumlah sedikit. Unsur hara yang terdapat dalam tanah yaitu Natrium (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan Sulfur (S). Unsur hara mikro contohnya, Besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), Molibdinum (Mo), Boron (B), dan Klor (Cl) (Diara, 20016).

Gambar 4.2 menunjukkan pola difraksi dari serbuk karbon pada pemanasan 600°C . Puncak lebar pada rentang $20\text{-}30^\circ$ dan puncak-puncak kecil teramati pada semua sampel. Puncak yang lebar pada sampel menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk pada sampel adalah karbon amorf. Setelah dilakukan pencocokan dengan *database* diketahui bahwa puncak-puncak kecil yang terbentuk pada sampel adalah KCl dan CaSO_4 . Puncak KCl teramati pada sampel gula di posisi $2\Theta = 28.34^\circ$ dan 40.54° dengan bidang kristal (200) dan (220). Sedangkan untuk sampel nira dan legen dengan pemanasan pada temperatur 600°C teramati adanya

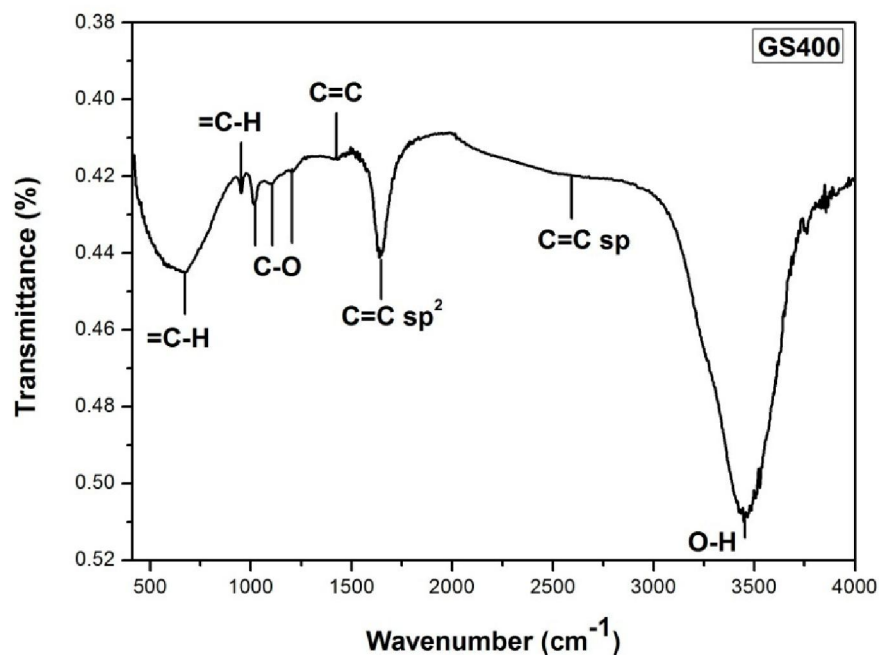
pengotor berupa CaSO_4 (COD : 00-070-0909) yang terbentuk pada $2\theta = 25.26^\circ$ dan 31.44° dengan bidang kristal (200) dan (012).



Gambar 4.2 Pola difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 600°C

4.2 Analisis Ikatan Gugus Fungsi

Karakterisasi struktur dilakukan menggunakan spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui ikatan gugus fungsi yang terbentuk dalam sampel. Prinsip kerja FTIR menggunakan metode transformasi fourier yaitu dengan menembakkan sinar yang dipancarkan dari sumber menuju material uji kemudian mengukur serapan spektrum inframerah yang diteruskan oleh sampel pada berbagai bilangan gelombang. Keluaran dari hasil pengujian FTIR berupa grafik hubungan presentase transmisi (%T) yaitu pola puncak-puncak dari interaksi setiap molekul dalam material uji yang menyerap energi dari spektrum inframerah terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}). Setiap atom atau molekul yang saling berikatan memiliki nilai serapan energi spektrum inframerah yang berbeda-beda.



Gambar 4.3 Spektra inframerah GS400

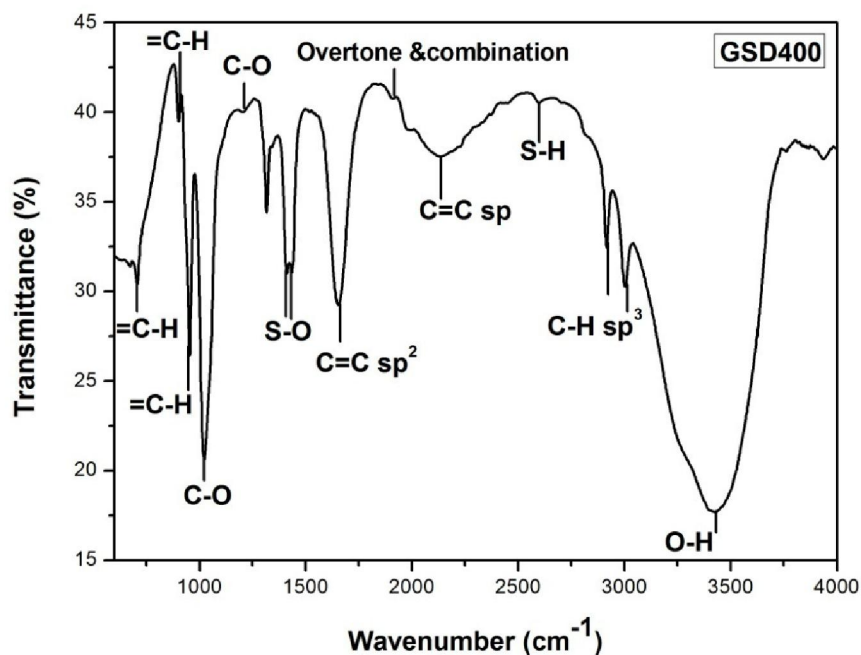
Gambar 4.3 menunjukkan spektrum hasil uji FTIR dari gula siwalan dengan temperatur pemanasan 400 °C yang dilarutkan dalam pelarut aquades mengidentifikasi adanya ikatan gugus fungsi =C-H, C-O, C-H, O-H dan ikatan rangkap C=C sp^2 dan C=C sp . Vibrasi regangan =C-H terdeteksi pada rentang ~600-1000 cm^{-1} merupakan tekukan keluar bidang (*out of plane bending*) dan rentang ~1340-1470 cm^{-1} merupakan tekukan pada bidang (*in plane bending*). Vibrasi regangan rangkap C=C teramati pada rentang bilangan gelombang ~1400-1600 cm^{-1} termasuk dalam kelompok senyawa cincin aromatik dan alkena. C=C sp^2 teramati pada bilangan gelombang 1649.19 cm^{-1} . C=C merupakan ikatan karbon heksagonal dengan keadaan terhibridisasi sp^2 . Hibridisasi sp^2 berarti bercampurnya elektron dalam orbital 2s dan 2p sehingga menghasilkan hibridisasi pada tiga orbital gabungan yaitu antara orbital 2s dengan 2p_x dan 2p_y serta satu orbital 2p_z yang tak terhibridisasi. Tiga orbital 2p yang terhibridisasi membentuk struktur trigonal yang menunjukkan adanya tiga atom karbon dengan tiga orbital sp^2 dan satu orbital p tak terhibridisasi yang tegak lurus dengan orbital sp^2 (Darminto, 2018). Pada rentang bilangan gelombang ~1000-1300 cm^{-1} muncul

tiga puncak yang merupakan vibrasi C-O. Vibrasi regangan gugus fungsi hidroksil (O-H) teramati pada rentang bilangan gelombang $\sim 2500\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$.

Tabel 4.1 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur 400 °C pelarut aquades

Referensi	Pengamatan			Ikatan
	NS400	LS400	GS400	
600-1000*	673.18		677.04	<i>=C-H out of plane bending</i>
			952.87	
1000-1300*	1099.46	1109.11	1014.59	<i>C-O Stretching</i>
	1205.55	1201.69	1105.25	
	-	-	1209.41	
1340-1470 ⁺	1371.43	-	-	<i>=C-H in plane bending</i>
1400-1600*	-	1431.23	1431.23	<i>C=C Stretching</i>
1610-1680 ⁺	1635.69	1631.83	1649.19	<i>C=C sp²</i>
2100-2260*	2104.41	2092.83	-	<i>C=C sp</i>
2500-2700 ⁺	-	-	2503.69	<i>O-H</i>
3200-3600 ⁺	3450.77	3450.77	3450.77	<i>O-H</i>

Grafik FTIR dari gula siwalan dengan pemanasan 400 °C menggunakan pelarut DMSO mengidentifikasi adanya ikatan gugus fungsi yaitu =C-H, C-O, S-O, C=C sp², C=C sp, O-H, S-H, dan C-H sp³. Sampel karbon amorf dengan pelarut DMSO memiliki ikatan yang lebih banyak dikarenakan adanya ikatan yang terbentuk dari larutan itu sendiri. Perincian dari puncak-puncak transmitansi pada sampel dengan pemanasan 400 °C dan pelarut DMSO ditunjukkan pada Tabel 4.2.

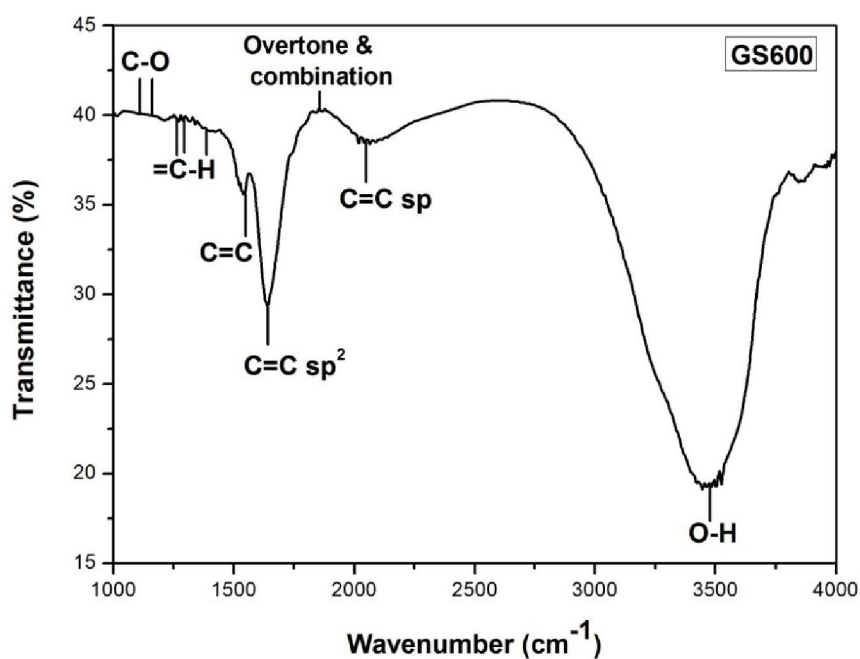


Gambar 4.4 Spektrum inframerah GSD400

Tabel 4.2 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur 400 °C pelarut DMSO

Referensi	Pengamatan			Ikatan
	NSD400	LSD400	GSD400	
600-1000*	707.9	707.9	705.97	<i>=C-H out of plane bending</i>
	902.72	900.79	902.72	
	952.87	952.87	952.87	
1000-1300*	1020.38	1022.31	1022.31	C-O <i>Stretching</i>
	1211.34	1201.69	1201.69	
1290-1390 ⁺	1317.43	1315.5	-	SO ₂ <i>asymmetry</i>
	1342.5	-	-	
1350-1450*	1410.01	1410.01	1411.94	S-O sulfat
	1437.02	1438.94	1437.02	
1610-1680 ⁺	1651.12	1651.12	1653.05	C=C sp ² <i>Overtone and combination band</i>
	1909.59	1903.8	1907.66	
1700-2000*	2004.11	1977.1	1996.39	C=C sp
	2131.41	2144.91	2135.27	
2550-2600 ⁺	2600.13	2600.13	2598.2	S-H
2850-3000*	2918.4	2916.47	2916.47	C-H stretch

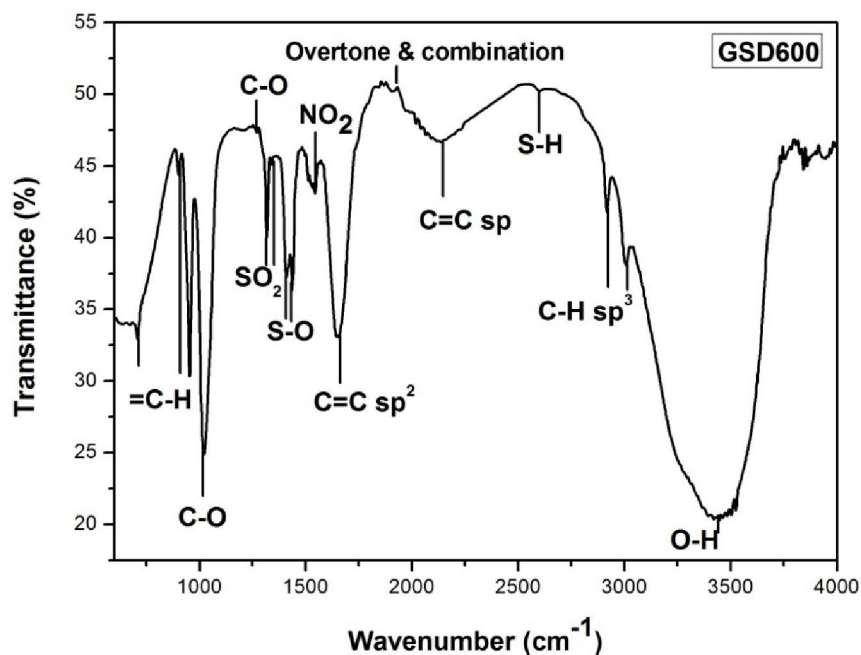
	3007.12	3003.27	3003.27	sp ³
3200-3600 ⁺	3406.4	3423.76	3427.62	O-H



Gambar 4.5 Spektrum inframerah GS600

Tabel 4.3 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur 600 °C pelarut aquades

Referensi	Pengamatan			Ikatan
	NS600	LS600	GS600	
600-1000*	949.01	950.94	-	=C-H out of plane bending
1000-1300*	1012.66	1012.66	1012.66	C-O stretching
	1271.13	1267.27	1271.13	
1340-1470 ⁺		1290.42		=C-H in plane bending
	1317.43	1315.5	1317.43	
	1338.64	-	1338.64	
	-	-	1390.72	
1400-1600*	1531.53	1529.6	1539.25	C=C Stretching
1610-1680 ⁺	1639.55	1635.69	1639.55	C=C sp ²
1700-2000*	-	-	1840.15	Overtone and combination band
2000-2200*	2063.9	2077.4	2063.9	C=C sp
3200-3600 ⁺	3462.34	3462.34	3462.34	O-H



Gambar 4.6 Spektrum inframerah GSD600

Tabel 4.4 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur 600 °C pelarut DMSO

Referensi	Pengamatan			Ikatan
	NSD600	LSD600	GSD600	
	707.9	707.9	707.9	
600-1000*	902.72	902.72	902.72	=C-H <i>out of plane bending</i>
	952.87	952.87	952.87	
1000-1300*	1020.38	1020.38	1020.38	C-O <i>Stretching</i>
	1271.13		1271.13	
1290-1390 ⁺	1317.43	1317.43	1317.43	SO ₂ <i>asymmetry</i>
	1338.64	1342.5	1340.57	
1350-1450*	1411.94	1410.01	1410.01	S-O sulfat
		1437.02	1437.02	
1530-1560*	1539.25	1541.18	1545.03	NO ₂ <i>asymmetry</i>
1600-1680 ⁺	1643.41	1645.33	1645.33	C=C sp ²
	1658.84	-	-	
1700-2000*	1737.92	1842.08	1907.66	Overtone and combination band
	-	-	1975.17	
2000-2200*		2021.47	-	C=C sp
	2158.42	2121.77	2137.2	
2550-2600 ⁺	2603.99	2600.13	2602.06	S-H

2850-3000*	2918.4	2918.4	2918.4	C-H <i>stretch</i> sp ³
	3009.05	3007.12	3009.05	
3200-3600 ⁺	3408.33	3423.76	3444.98	O-H

*stuart (2004) , ⁺Skoog (1998) dan [~]Sahil (2012)

Pola transmitansi FTIR dari gula siwalan yang dipanaskan pada suhu 600 °C dengan pelarut aquades ditampilkan pada Gambar 4.5. Pola FTIR tersebut menunjukkan bahwa ikatan gugus fungsi yang terbentuk pada sampel adalah vibrasi regangan =C-H yang memiliki dua tekukan yaitu *out of plane bending* dan *in plane bending* pada rentang bilangan gelombang 600-1000 cm⁻¹ yaitu pada 1340 cm⁻¹ dan 1470 cm⁻¹. Selain itu, terbentuk ikatan gugus fungsi C-O, O-H, C-H, C=C sp² dan C=C sp. Sedangkan sampel dengan pelarut DMSO terbentuk ikatan gugus fungsi lebih banyak, DMSO memiliki struktur molekul yang lebih kompleks dibandingkan dengan aquades sehingga dapat membentuk ikatannya sendiri yaitu SO₂, S-O dan S-H. Pada temperatur yang lebih tinggi, ikatan C-H terputus dan vibrasi regangannya terjadi pada bilangan gelombang ~2850-3000 cm⁻¹. Dayana (2011) melaporkan bahwa analisis data FTIR dari lapisan tipis karbon amorf mengandung campuran ikatan sp² dan sp³ yang teramati pada panjang gelombang 2858 dan 2930 cm⁻¹, dimana keduanya merupakan vibrasi regangan C-H. Hal tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rusop (2004) dan Mahadik (2011) yang menyatakan bahwa vibrasi regangan C-H merupakan ikatan sp² karbon teramati pada rentang bilangan gelombang 2920-3600 cm⁻¹ sedangkan untuk ikatan sp³ muncul pada rentang panjang gelombang 2850-2945 cm⁻¹. Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 menampilkan perincian dari puncak-puncak transmitansi yang terdeteksi pada sampel hasil pemanasan pada suhu 600 °C dengan variasi pelarut aquades dan DMSO. Hasil uji FTIR menunjukkan adanya ikatan karbon dengan orbital hibrida sp³ dan sp², dan konsentrasi dari hibridisasi tersebut dapat dikonfirmasi dari hasil uji PES.

4.3 Analisis Ukuran Partikel

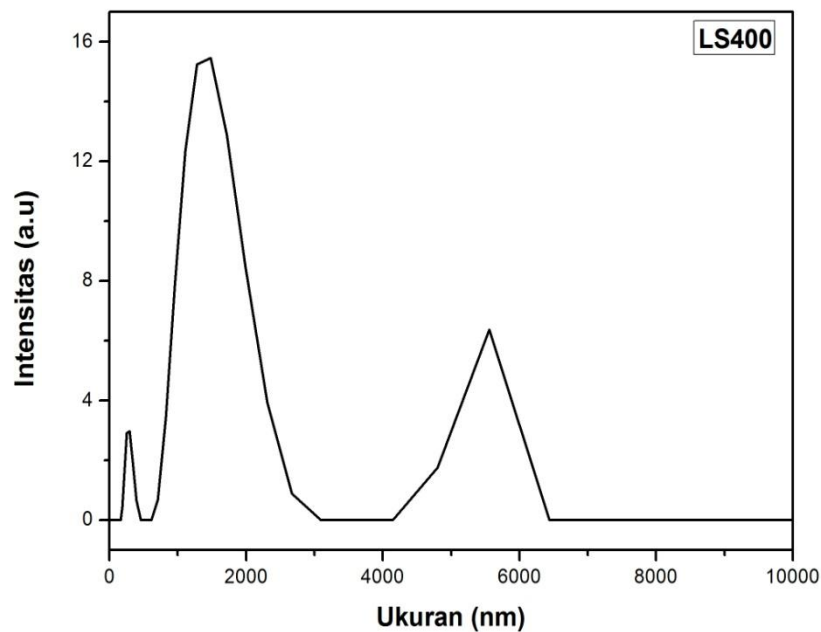
Identifikasi ukuran partikel pada karbon ditentukan berdasarkan metode *Dynamic Light Scattering* (DLS) menggunakan alat uji *Particle Size Analyzer* (PSA). Sampel yang disuspensikan ke dalam pelarut, dalam penelitian

menggunakan variasi pelarut berupa aquades dan DMSO. Hal ini menyebabkan partikel dari material uji akan bergerak bebas secara acak bersamaan dengan molekul pelarut mengikuti aturan gerak brown. Molekul pelarut bergerak disebabkan adanya energi termal. Kemudian ditembakkan cahaya sehingga akan terjadi fluktuasi terhadap kecepatan gerak partikel diakibatkan oleh adanya intensitas cahaya yang dihamburkan oleh partikel tersebut, kecepatan gerak partikel tersebut bergantung pada besarnya ukuran partikel. Pengukuran dilakukan dengan prinsip bahwa partikel-partikel yang lebih kecil akan bergerak lebih cepat daripada partikel-partikel yang lebih besar. Dengan metode DLS ini, PSA dapat digunakan untuk mengetahui ukuran serta distribusi ukuran dari partikel dan molekul yang terdispersi dalam larutan.

Tabel 4.5 Data Ukuran Partikel Hasil Pengujian PSA

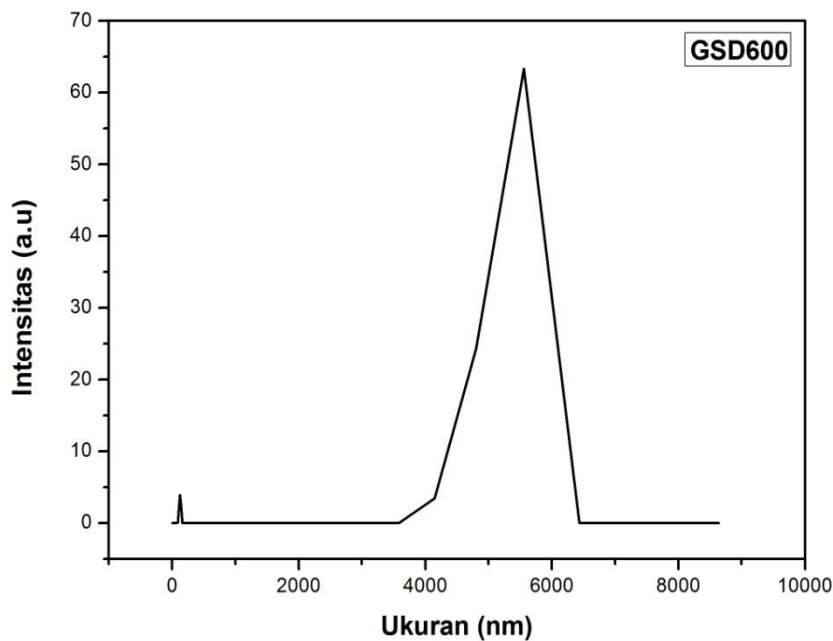
Nama sampel	Ukuran Partikel (μm)	
	400 °C	600 °C
NS	0,17	0,89
NSD	1,17	1,24
LS	0,46	1,70
LSD	1,74	6,76
GS	0,19	0,60
GSD	0,43	5,85

Hasil pengujian ukuran partikel menggunakan PSA ditunjukkan pada Tabel 4.5. Data hasil pengujian tersebut menunjukkan ukuran partikel dari karbon yang dihasilkan dari siwalan berkisar dari 0.17-6.76 μm . Tabel 4.5 Menunjukkan bahwa perbedaan temperatur pemanasan mempengaruhi ukuran partikel, semakin meningkatnya temperatur maka ukuran partikel semakin besar. Selain itu, penggunaan pelarut juga mempengaruhi ukuran partikel, ukuran partikel dari sampel dengan pelarut DMSO lebih besar dibandingkan dengan sampel menggunakan pelarut aquades.



Gambar 4.7 Distribusi ukuran partikel LS400

Selain ukuran partikel, distribusi ukuran partikel juga dapat diketahui melalui uji PSA. Distribusi ukuran partikel ini akan menyatakan tingkat kehomogenan ukuran partikel yang dihasilkan. Distribusi ukuran partikel dari sampel LS400 ditunjukkan pada Gambar 4.7 sedangkan Gambar 4.8 merupakan distribusi ukuran partikel dari sampel GSD600. Distribusi ukuran partikel dari sampel LS400 menunjukkan ketidakseragaman ukuran karena memiliki dua puncak yang lebar. Sedangkan sampel GSD600 hanya memiliki satu puncak yang tinggi, hal tersebut mengindikasikan bahwa distribusi ukuran partikel dari sampel GSD600 hampir sama. Kehomogenan distribusi ukuran partikel dari kedua sampel juga dapat diamati dari struktur morfologi yang didapatkan dari hasil uji SEM.



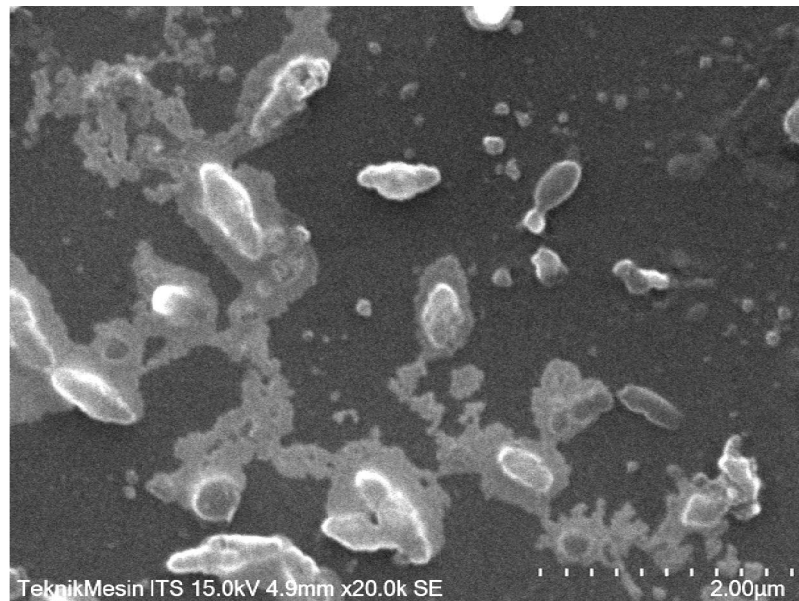
Gambar 4.8 Distribusi ukuran partikel GSD600

4.4 Analisis Struktur Morfologi

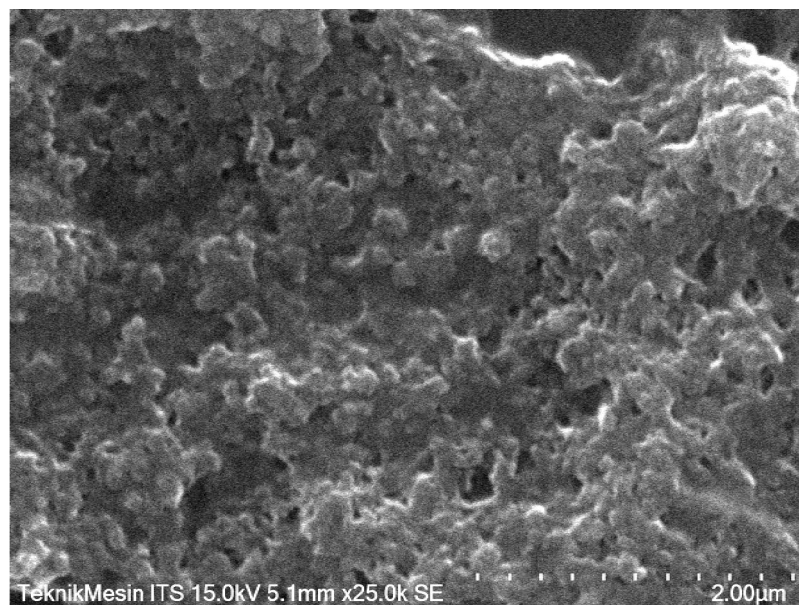
Scanning Electron Microscopy (SEM) dapat digunakan untuk mengetahui struktur morfologi dan topologi permukaan material. Prinsipnya didasarkan pada interaksi elektron dengan permukaan material, berkas elektron ditembakkan pada permukaan sampel, sedangkan gambar yang diperoleh berdasarkan hasil deteksi elektron yang dihamburkan atau berdasarkan elektron sekunder. Elektron sekunder berasal dari permukaan sampel dan memiliki energi yang rendah sekitar 5-50 eV. Sedangkan elektron yang dihamburkan berasal dari bagian sampel yang lebih dalam dan memberikan informasi tentang komposisi sampel karena elektron yang lebih berat menghamburkan secara lebih kuat dan tampak lebih terang pada gambar yang dihasilkan (Setiabudi, 2012). Identifikasi struktur morfologi dilakukan pada sampel LS400 dan GSD600.

Gambar 4.9 merupakan mikrograf SEM dari sampel LS400. Berdasarkan mikrograf tersebut menunjukkan bahwa morfologi permukaan dari sampel LS400 tampak seperti bongkahan yang memanjang, bongkahan-bongkahan tersebut memiliki ukuran yang hampir sama dengan ukuran sekitar $0.58 \mu\text{m}$. Bongkahan-bongkahan tersebar bebas menunjukkan bahwa lapisan karbon yang terdeposisi

pada substrat ITO tidak merata. Morfologi permukaan gula siwalan yang dipanaskan pada temperatur 600 °C dengan pelarut Dimetil Sulfoksida (GSD600) ditunjukkan pada Gambar 4.10. Morfologi permukaan GSD600 tampak berbentuk nodular, menunjukkan terjadinya aglomerasi dan tidak terlihat jelas batas butir antar satu dengan yang lainnya.



Gambar 4.9 Struktur morfologi LS400

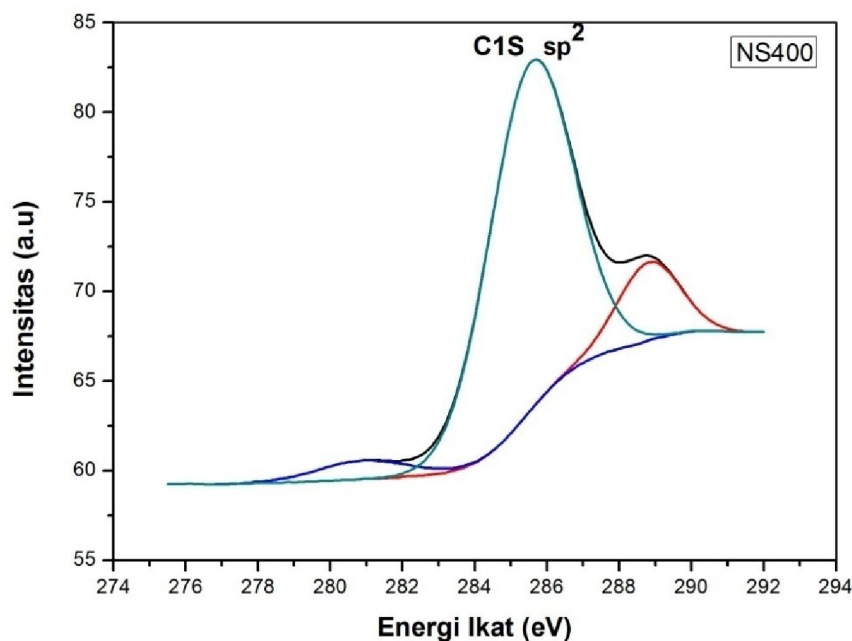


Gambar 4.10 Struktur morfologi GSD600

Hasil uji PSA menunjukkan bahwa ukuran partikel dari sampel LS400 adalah $0.46\ \mu\text{m}$ sedangkan hasil uji SEM menyatakan bahwa ukuran partikelnya adalah $0.58\ \mu\text{m}$. Ketidakserasian ukuran partikel telah ditunjukkan dari grafik distribusi ukuran partikel serta telah sesuai dengan struktur morfologi yang menunjukkan bahwa strukturnya berupa bongkahan dan memiliki ukuran yang berbeda-beda. Hasil uji PSA menyatakan bahwa ukuran partikel pada sampel GSD600 adalah $5.85\ \mu\text{m}$ dan memiliki distribusi ukuran partikel yang sama. Hal tersebut dimungkinkan karena terjadi aglomerasi pada sampel seperti yang telah ditunjukkan pada struktur morfologinya sehingga memiliki ukuran partikel yang cukup besar.

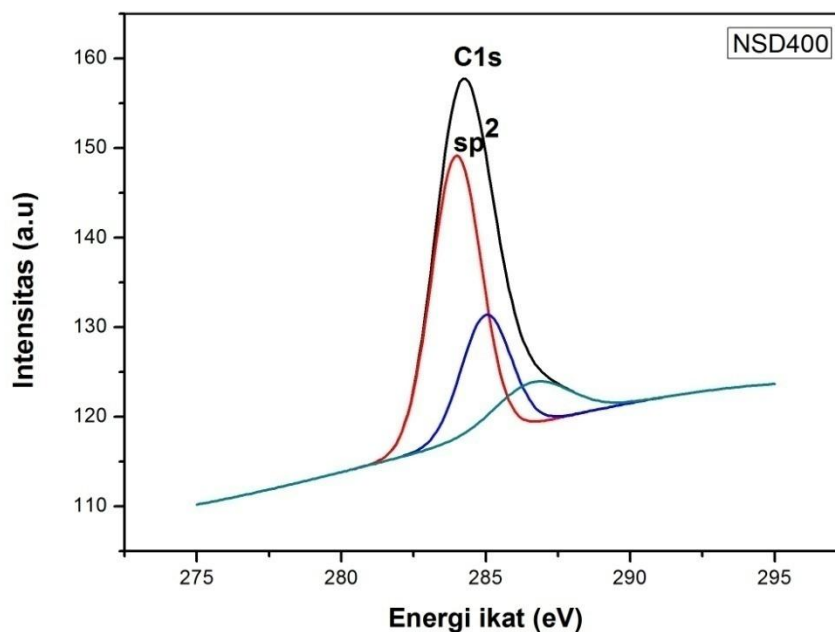
4.5 Analisis Konsentrasi Orbital Hibrida sp^2

Konsentrasi orbital hibrida sp^2 dapat diamati menggunakan *photo emission spectroscopy* (PES). PES didasarkan pada prinsip efek fotolistrik, PES merupakan *spectroscopy* yang dapat digunakan untuk karakterisasi permukaan, yaitu mengidentifikasi adanya unsur-unsur kimia pada permukaan serta menginformasikan sifat ikatan kimia yang terbentuk pada unsur-unsur tersebut. PES ini bergantung pada deteksi karakteristik fotoelektron yang dipancarkan dari permukaan sampel pada paparan sinar-X untuk mengidentifikasi unsur dan karakteristik ikatan yang terbentuk. Ketika sinar-X diserap oleh sampel, energinya ditransfer ke dalam tiga komponen utama yaitu (1) untuk memutus ikatan antara elektron dan atom, yang juga dikenal sebagai energi ikat, (2) untuk menyediakan energi kinetik yang cukup untuk fotoelektron yang terletak paling dekat dengan permukaan untuk keluar dari permukaan sampel, dan (3) untuk memberikan energi kinetik berlebih ke fotoelektron yang dikeluarkan dalam ruang hampa. Parameter karakteristik di antara energi-energi ini adalah energi ikat, yang menunjukkan unsur-unsur dan ikatan yang terbentuk dalam sampel (Mansour, 2011).



Gambar 4.11 Hasil puncak *fitting* C1s NS400

Gambar 4.11 merupakan hasil *fitting* puncak C1s dari sampel NS400. Pengukuran PES menghasilkan data berupa grafik hubungan intensitas terhadap energi ikat (eV). Kemudian dilakukan dekonvolusi puncak C1s menggunakan *Microsoft excel* yang telah dilengkapi oleh *software macros*. Berdasarkan hasil dekonvolusi puncak C1s didapatkan 3 puncak pada sampel NS400, ikatan C=C sp² terbentuk pada puncak 284.53 eV. Selain itu, juga terbentuk ikatan C=O pada puncak 287.8 eV. Hasil *fitting* puncak C1s pada sampel NSD400 ditunjukkan pada Gambar 4.12. Berdasarkan hasil *fitting* tersebut didapatkan tiga puncak masing-masing berupa ikatan C=C sp² yang terbentuk pada 283.98 eV, ikatan C-C sp³ pada 285 eV dan ikatan C-O pada 286.6 eV.



Gambar 4.12 Hasil puncak *fitting* C1s NSD400

Hasil perhitungan presentase kandungan orbital hibrida sp^2 ditunjukkan pada Tabel 4.6. Berdasarkan perhitungan tersebut menunjukkan bahwa lapisan karbon amorf memiliki konsentrasi orbital hibrida sp^2 yang cukup tinggi. Konsentrasi orbital hibrida sp^2 tertinggi pada sampel LSD400 yaitu 88.9 %. Lapisan karbon amorf mengandung campuran ikatan sp^2 dan sp^3 sehingga memiliki sifat yang istimewa. Kandungan orbital hibrida sp^2 dapat mempengaruhi sifat listrik suatu material sedangkan kandungan orbital hibrida sp^3 berpengaruh pada sifat fisik material. Semakin banyak kandungan orbital hibrida sp^2 maka sifat listrik yang dimiliki oleh bahan tersebut semakin baik dan cocok diaplikasikan sebagai bahan konduktor. Sedangkan bahan yang memiliki kandungan ikatan sp^3 yang tinggi akan memiliki sifat mekanik yang sangat keras namun bersifat isolator. Kandungan orbital hibrida sp^2 pada semua sampel memiliki presentase yang cukup tinggi, ikatan sp^2 mempengaruhi nilai konduktivitas dan energi gap dari bahan tersebut. Semakin tinggi kandungan sp^2 , material akan memiliki energi gap yang rendah sehingga nilai konduktivitasnya

tinggi. Sedangkan bahan yang memiliki kandungan orbital hibrida sp^2 yang rendah maka energi gapnya lebar sehingga nilai konduktivitasnya rendah.

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan konsentrasi sp^2 pada puncak C1s

Nama sampel	Konsentrasi sp^2 (%)	
	400 °C	600 °C
NS	81,7	79,0
NSD	61,0	70,3
LS	65,9	45,6
LSD	88,9	44,5
GS	-	68,8
GSD	84,5	73,2

4.6 Analisis Konduktivitas Listrik dan Energi Gap

Konduktivitas listrik dan energi gap merupakan parameter penting dalam bahan semikonduktor sehingga penting untuk mengetahui nilai keduanya. Analisis konduktivitas listrik perlu dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari lapisan karbon amorf untuk mengantarkan arus listrik. Konduktivitas listrik dapat ditentukan dengan pengujian menggunakan *four point probe* (FPP). Kaca ITO yang telah dideposisi larutan karbon amorf kemudian diuji dengan metode empat titik *probe*. Konduktivitas dari sampel dengan pengukuran menggunakan FPP ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data konduktivitas listrik hasil pengukuran menggunakan FPP

Nama Sampel	Konduktivitas (S/m)	
	400°C	600°C
NS	0,079	0,064
NSD	0,058	0,067
LS	0,086	0,055
LSD	0,048	0,068
GS	0,079	0,053
GSD	0,069	0,092

Konduktivitas merupakan kemampuan suatu material menghantarkan arus listrik. Konduktivitas suatu material dikelompokkan menjadi 3 yaitu konduktor, semikonduktor dan isolator. Bahan yang bersifat konduktor dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Isolator merupakan penghantar listrik yang buruk. Sedangkan semikonduktor memiliki sifat listrik diantara konduktor dan isolator. Klasifikasi bahan berdasarkan nilai konduktivitas ditampilkan pada Tabel 4.8. Hasil pengukuran konduktivitas menunjukkan bahwa semua bersifat semikonduktor karena memiliki nilai konduktivitas berkisar antara $10^{-8} - 10^3$ S/m.

Tabel 4.8 Klasifikasi bahan berdasarkan nilai konduktivitas

Bahan	Konduktivitas (S/m)
Konduktor	$>10^3$
Semikonduktor	$10^{-8} - 10^3$
Isolator	$<10^{-8}$

Nilai konduktivitas listrik dipengaruhi oleh lebar celah energi atau energi gap. Semakin tinggi lebar celah energi maka konduktivitas listrik akan semakin rendah, dan sebaliknya. Hasil pengukuran energi gap menggunakan FPP ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data energi gap hasil pengukuran menggunakan FPP

Nama Sampel	Energi Gap (eV)	
	400°C	600°C
NS	0,749	0,596
NSD	0,782	0,630
LS	1,012	0,671
LSD	0,354	0,626
GS	0,478	0,631
GSD	0,591	0,838

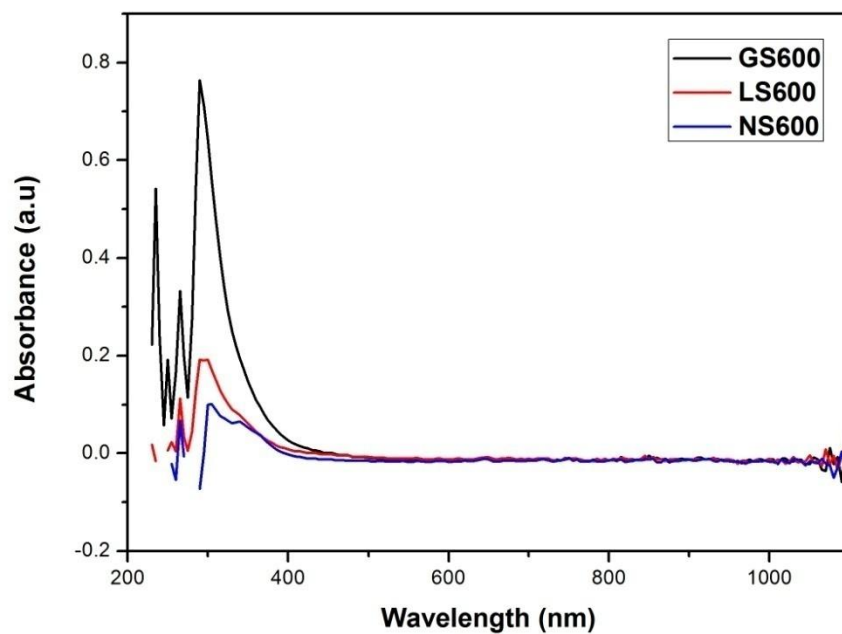
Energi gap yang dihasilkan berkisar pada 0.35 eV – 1.01 eV sehingga dapat diketahui bahwa semua sampel bersifat semikonduktor. Semikonduktor banyak diaplikasikan sebagai salah satu piranti sel surya, selain itu juga dapat

diaplikasikan sebagai diode dan transistor. Pamungkas (2019) menyatakan bahwa lapisan tipis karbon amorf yang dihasilkan dari pemanasan legen kelapa merupakan bahan semikonduktor karena memiliki rentang energi gap sekitar $0 < E_g < 3$ eV. Berdasarkan nilai energi gap, lapisan tipis karbon amorf dapat menyerap gelombang cahaya sinar UV dengan panjang gelombang berkisar antara 300 nm – 3000 nm. Oleh karena itu, penggunaan semikonduktor dari karbon amorf dinilai lebih efisien sebagai piranti sel surya menggantikan silikon. Selain fabrikasi yang cukup mudah, bahan dasar untuk pembuatan lapisan karbon amorf ini merupakan bahan alam sehingga mudah didapatkan dan murah.

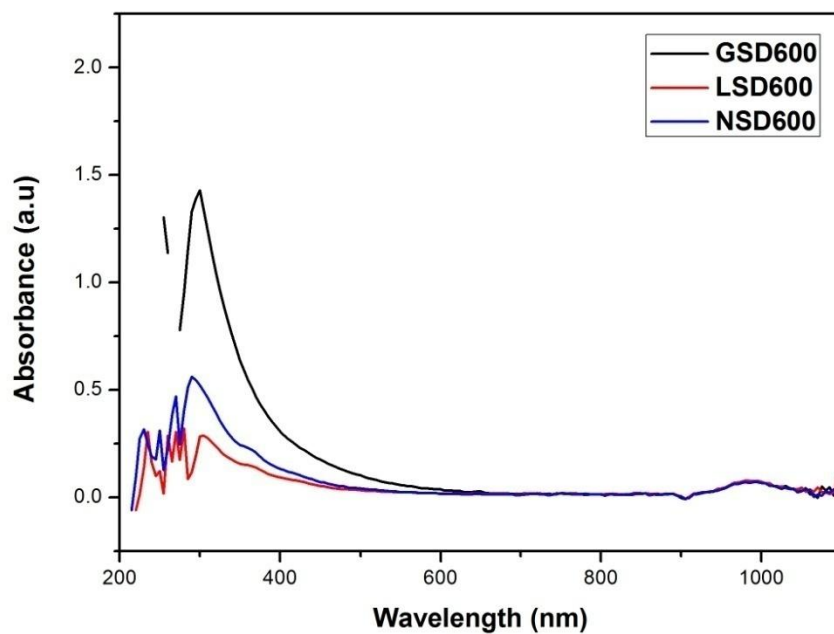
4.7 Analisis Sifat Optik

Sifat optik suatu material dapat ditentukan dengan mengetahui nilai absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Spektrofotometer UV-Vis merupakan pengukuran panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Ketika suatu atom atau molekul menyerap cahaya maka energi yang diserap tersebut akan mengakibatkan elektron tereksitasi dari kulit terluar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Sinar ultraviolet berada pada panjang gelombang 200-400 nm sedangkan sinar tampak berada pada panjang gelombang 400-800 nm.

Absorbansi pada sampel dengan pemanasan pada suhu 400 °C tidak terukur, hal tersebut dikarenakan larutan hasil eksfoliasi dari sampel tersebut sangat pekat sehingga absorbansinya tidak terukur. Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan spektrum absorbansi dari sampel nira, legen dan gula siwalan yang dipanaskan pada temperatur 600 °C dan menggunakan pelarut aquades dan DMSO dengan rentang panjang gelombang 200-1100 nm. Pada grafik menunjukkan bahwa daerah serapan tertinggi sampel terjadi pada panjang gelombang 230-380 nm. Spektrum absorbansi mengidentifikasi bahwa sampel dapat menyerap pada panjang gelombang cahaya ultraviolet.



Gambar 4.13 Spektrum UV-Vis sampel dengan pemanasan pada temperatur 600 °C dan pelarut aquades



Gambar 4.14 Spektrum UV-Vis sampel dengan pemanasan pada temperatur 600 °C dan pelarut DMSO

Grafik hasil uji UV-Vis menunjukkan bahwa sampel gula siwalan memiliki nilai absorbansi tertinggi dibandingkan dengan nira dan legen siwalan baik dengan menggunakan pelarut aquades maupun DMSO. Hal tersebut mengidentifikasi bahwa sampel tersebut memiliki daya serap yang paling tinggi dibandingkan sampel lainnya. Penggunaan variasi larutan pada sampel tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai absorbansi. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik yang dihasilkan menunjukkan bahwa sampel dengan pelarut aquades dan DMSO sama-sama memiliki daya serap yang tinggi pada panjang gelombang sekitar 230-380 nm. Perubahan temperatur pemanasan mempengaruhi daya serap panjang gelombang pada bahan. Daya serap pada bahan berkurang dengan semakin tingginya temperatur pemanasan. Pada sampel dengan temperatur pemanasan yang lebih tinggi memiliki daya serap panjang gelombang yang lebih pendek sehingga hanya mampu menyerap pada daerah cahaya ultraviolet. Simamora (2014) menyatakan bahwa temperatur kalsinasi memberikan pengaruh terhadap nilai absorbansi. Absorbansi terjadi pada saat foton masuk bertumbukan dengan atom-atom material dan menyerahkan energinya pada elektron, foton mengalami perlambatan dan akhirnya berhenti, sehingga pancaran sinar yang keluar dari material berkurang dibandingkan saat masuk ke material. Bahan yang menggunakan temperatur lebih tinggi menjadi lebih rapat dan homogen sehingga cahaya yang diserap pada bahan tersebut tidak maksimum melainkan dihamburkan (Yulitah, 2015).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan:

1. Karbon amorf telah berhasil terbentuk dari pemanasan nira, legen dan gula siwalan pada temperatur 400 °C dan 600 °C dengan adanya impuritas berupa *sylvite* (KCl) dan CaSO_4 .
2. Lapisan karbon amorf telah berhasil dideposisi menggunakan metode *spin coating* dengan bahan dasar dari nira, legen dan gula siwalan.
3. Lapisan karbon amorf terdiri dari campuran orbital hibrida sp^2 dan sp^3 . Konsentrasi orbital hibrida sp^2 pada lapisan karbon amorf memiliki presentase yang cukup tinggi yaitu sekitar 44.5 % - 88.9 %.
4. Nilai konduktivitas lapisan karbon amorf berada sekitar 0.04 S/m - 0.09 S/m. Nilai energi gap yang dihasilkan masuk dalam rentang bahan semikonduktor yaitu 0.35 eV – 1.01 eV.
5. Sifat optik pada karbon amorf yang dihasilkan dari nira, legen dan gula siwalan memiliki daya serap di sekitar rentang panjang gelombang sinar ultraviolet.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian, penulis mendapatkan beberapa hal yang perlu diperhatikan dan semoga dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya yaitu dapat dilakukan metode deposisi yang lain seperti *nanospray deposition*. Penggunaan variasi temperatur yang lebih tinggi dapat dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk. Selain itu juga dapat dilakukan pengujian Raman untuk mengetahui *defect* pada bahan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

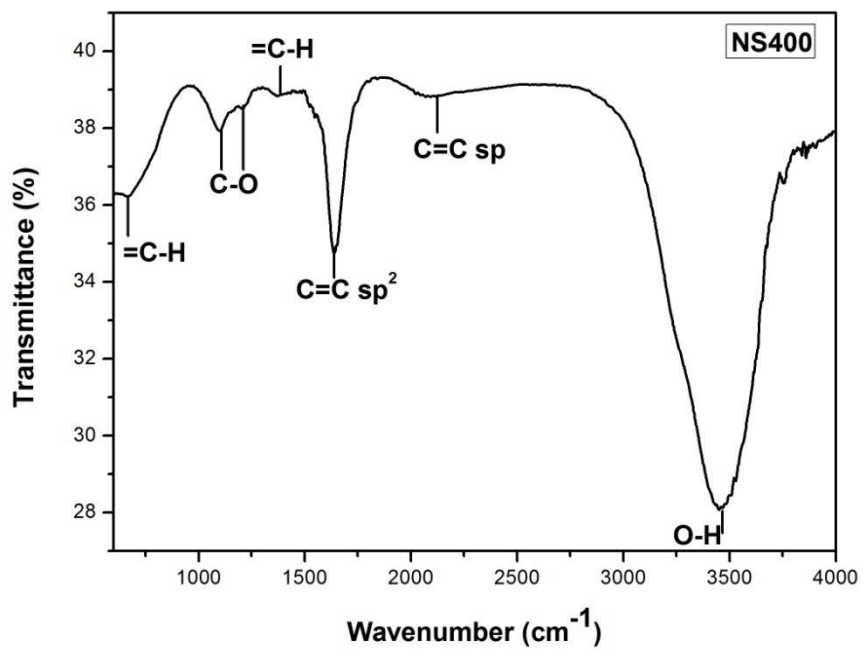
- Bednarska, Anita. 2013. "Study of Depth Chemical Composition Changes by The Means of XPS/ESCA". Institute for Sustainable Technologies - National Research Institute.
- Darminto, Malik Anjelh B., Retno A., "Pengembangan Bahan Karbon dari Biomass". ITS Press Surabaya. 2018.
- Dayana, K., A. N. Fadzilah dan M. Rusop., "Optical Properties of Amorphous Carbon Thin Films Deposited by Thermal CVD using Camphor Oil". Pp.978-1-4673-0102-2. 2011.
- Diara, I Wayan. "Kandungan Unsur Hara Makro Tanah pada Berbagai Komoditas Tanaman Pangan dan Hortikultura di Provinsi Bali". Thesis. Universitas Udayana Denpasar. 2010.
- Efendi, Feri. "Tumbuhan Lontar Sebagai Ide Dasar Penciptaan Motif Untuk Kemeja Pria Khas Lamongan". Skripsi. Pendidikan Seni Rupa. Fakultas bahasa dan seni universitas negeri Yogyakarta. 2018.
- Firmansyah, M. W. "Mempelajari Pengaruh Penambahan Baban Pengawet terhadap Umur Simpan Nira Siwalan (*Borassus flabellifer L.*) serta Mutu Gula Merah, Gula Semut dan Sirup yang Dihasilkan". Skripsi penelitian. 102. 1992.
- Franinovic, Marco. "X-ray Photoelectron Spectroscopy". University of Ljubljana. Faculty of mathematic and physics. 2012.
- Ikmah, I., Dimiyati, M., Sukowati, D., Yuliyanti, I., & Masturi. "Sifat Mekanik Tali Serabut Buah Lontar". *Proceeding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*, 31-36. 2015.
- Kirana, Chandra. "Kajian Kualitas Nata de Nira Siwalan (*Borassus flabellifer L.*) dengan Variasi Macam Gula dalam Beberapa Konsentrasi sebagai Materi Handout Biologi Kelas XII MAN Pamekasan". *Proceeding Biology Education Conference* (ISSN: 2528-5742), Vol 13(1) 2016: 178-186. 2016.
- Mahadik, D.B., S. S. Shinde, C. H. Bhosale, and K. Y. Rajpure, "Physical properties of chemical vapour deposited nanostructured carbon thin films," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 509, pp. 1418-1423, 2011.
- Mahtani, Pratish. "Optical and Structural Characterization of Amorphous Carbon Films". Thesis. Department of electrical and computer engineering. University of Toronto. 2010.
- Manage, Dammika P., "Structural and Optical Characterization of Hydrogenated Amorphous Carbon Thin Films". Thesis. Department physics. University of Toronto. 1998.

- Mansour, Ahmed. "Structural Analysis of Planar sp^3 dan sp^2 Films: Diamond-Like Carbon and Graphene Overlayers". Thesis. King Abdullah University of Science and Technology. 2011.
- Pamungkas, Diajeng I., "Analisis Struktur dan Sifat Optik Lapisan Tipis Karbon Amorf dari Nira Kelapa". ITS Surabaya. 2019.
- Pamungkas, Diajeng Indraswary, "Sintesis Karbon Amorf Berbasis Bio Product dengan Metode Pemanasan". ITS Surabaya. 2017.
- Robertson J. "Diamond Like Amorphous Carbon." *Cambridge University*. 2002.
- Rusop, M., T. Kinugawa, T. Soga, and T. Jimbo, "Preparation and Microstructure Properties of Tetrahedral Amorphous Carbon Films by Pulsed Laser Deposition Using Camphoric Carbon Target," *Diamond and Related Materials*, vol. 13, pp. 2174-2179, 2004.
- Sahil, K., Beniwal Prashant, Middha Akanksha, Sandhu Premjeet, and Rathore Devashish, "Interpretation of Infrared Spectra", *International journal of Pharmaceutical and Chemical Science*, vol. 1 (1), 2012.
- Saleh, Muhammad. "Penumbuhan Lapisan Tipis Karbon Amorf Terhidrogenasi (a-C:H) dengan teknik RF-PECVD". Tesis. Jurusan Fisika FMIPA ITS. 2018.
- Setiabudi, A., Rifan Hardian dan Ahmad Mudzakir. "Karakterisasi Material Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia". UPI Press. 2012.
- Silaban, Belli Martha Judika dan Li Felix Yuwono. "Optimasi Fermentasi Produksi Etanol dari Nira Siwalan (*Borassus Flabellifer*) Menggunakan Mikroorganisme *Saccharomyces Cerevisiae* dan *Pichia Stipitis* dengan *Response Surface Methodology*". Skripsi. Teknik kimia teknologi industry ITS. 2017.
- Simamora, Pintor dan Sinta Marito Siagian, "Preparasi dan Karakterisasi Sifat Optik Nanopartikel Cu_2O dengan Metode Kopresipitasi". *Jurnal Einstein* Volume 2 No.1, Februari 2014.
- Skoog, D.A., Holler, F.J., dan Nieman, T.A. "Principle of Instrumental Analysis". Philadelphia: Saunders Collage Pub.: Orlando, Fla.: *Harcourt Brace Collage Publisher*. 1998.
- Stuart, Barbara. "Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application". Analytical Technique in the Science (AnTS). 2004.
- Suroyya, Mayang. "Pengaruh Suhu dan Lama Penyimpanan Terhadap Kualitas Nira Siwalan (*Borassus flabellifer* L.) dengan Penambahan Ekstrak Biji Kelengkeng (*Euphoria longan* L.)". Skripsi. Biologi Uin Malang. 2016.
- Suseno, Thomas Indarto P., Sutarjo Surjoseputro dan Anita K. "Minuman Probiotik Nira Siwalan: Kajian Lama Penyimpanan terhadap Daya Anti Mikroba *Lactobacillus casei* pada Beberapa Bakteri Patogen". *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi Volume 1 Nomor 1*, April 2000.

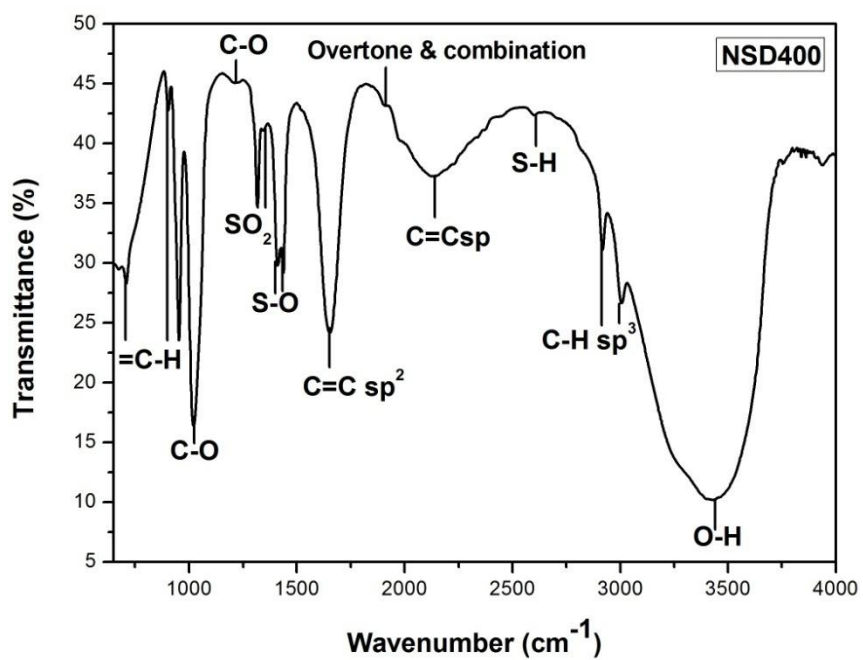
Yulitah, D., Rahmi Dewi dan Krisman, “Fabrikasi dan Karakterisasi Sifat Optik dari $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ Menggunakan Spektrofotometer Ultraviolet Visible”. *JOM FMIPA Volume 2 No.1*, Februari 2015.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

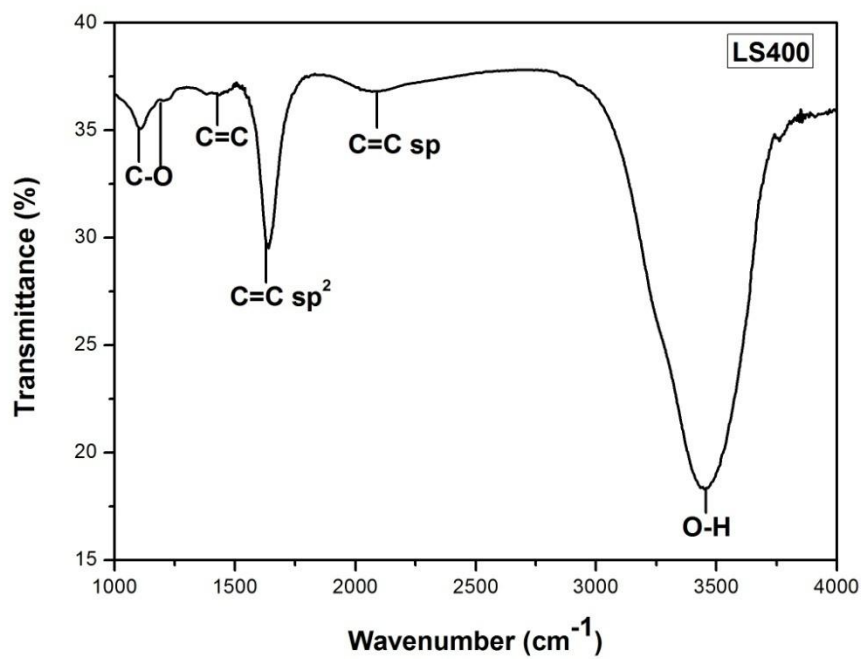
LAMPIRAN



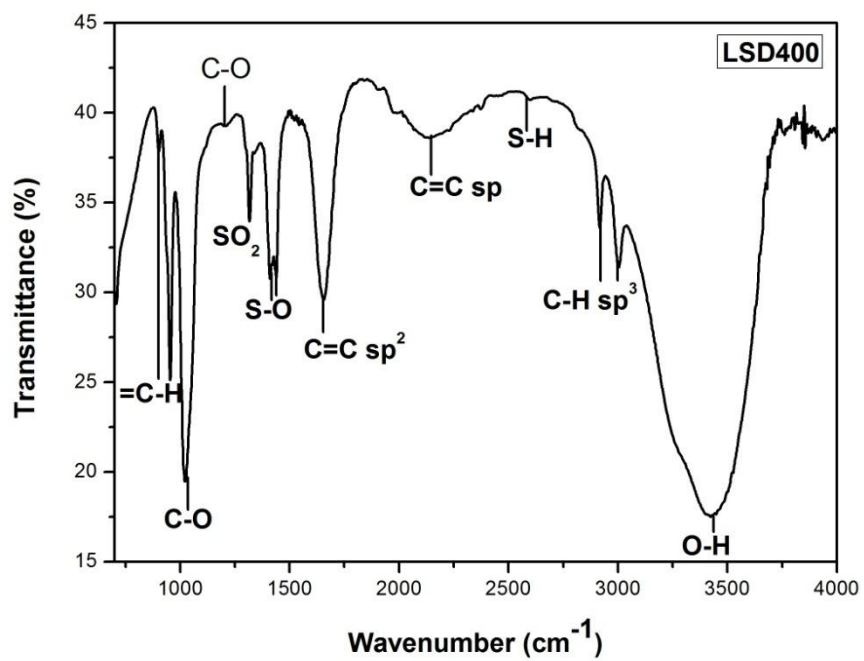
Gambar 1. Spektra inframerah NS400



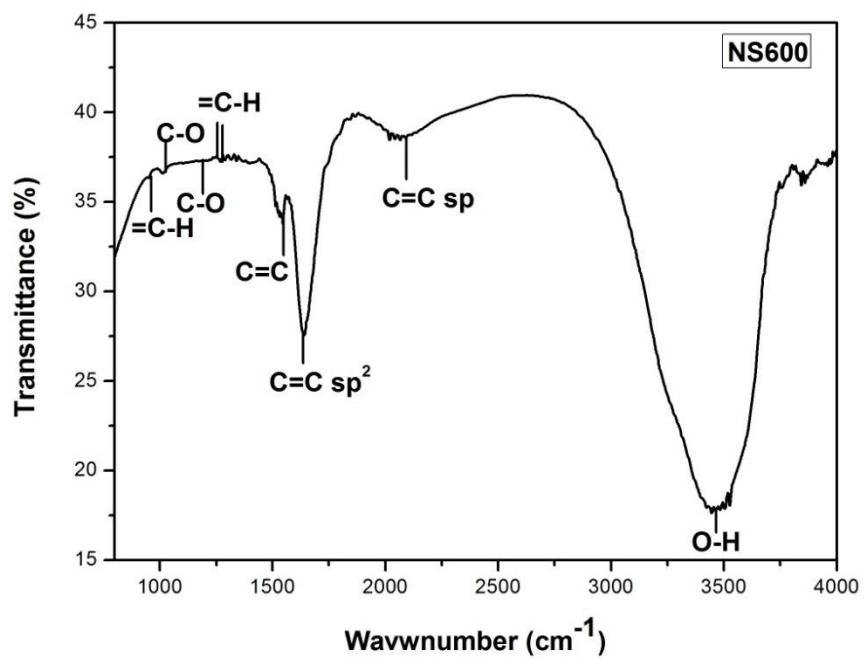
Gambar 2. Spektra inframerah NSD400



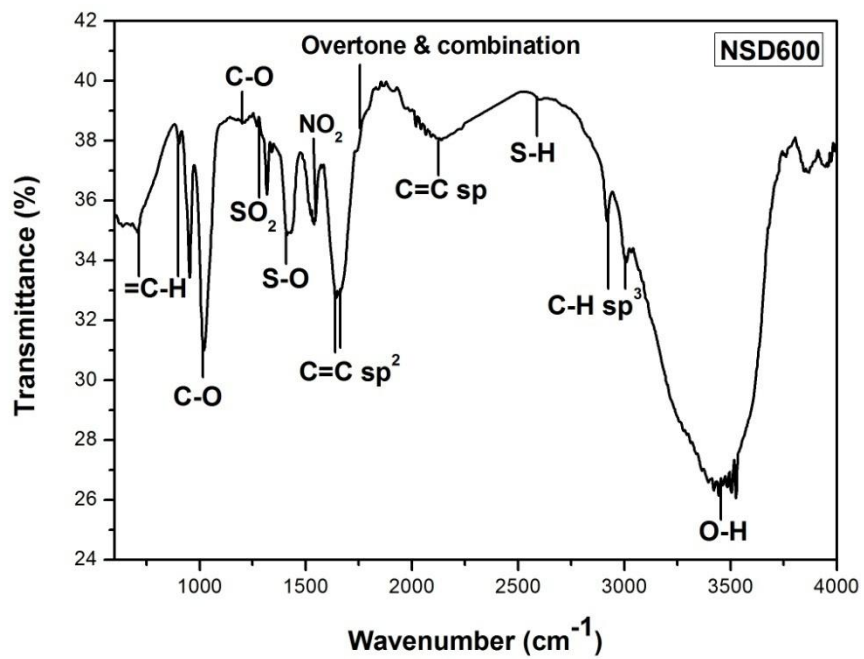
Gambar 3. Spektra inframerah LS400



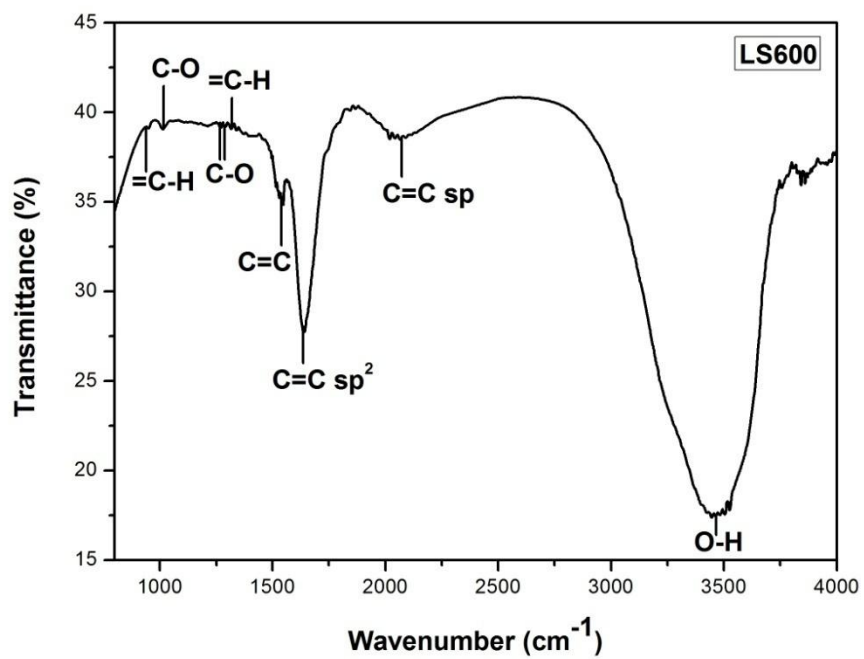
Gambar 4. Spektra inframerah LSD400



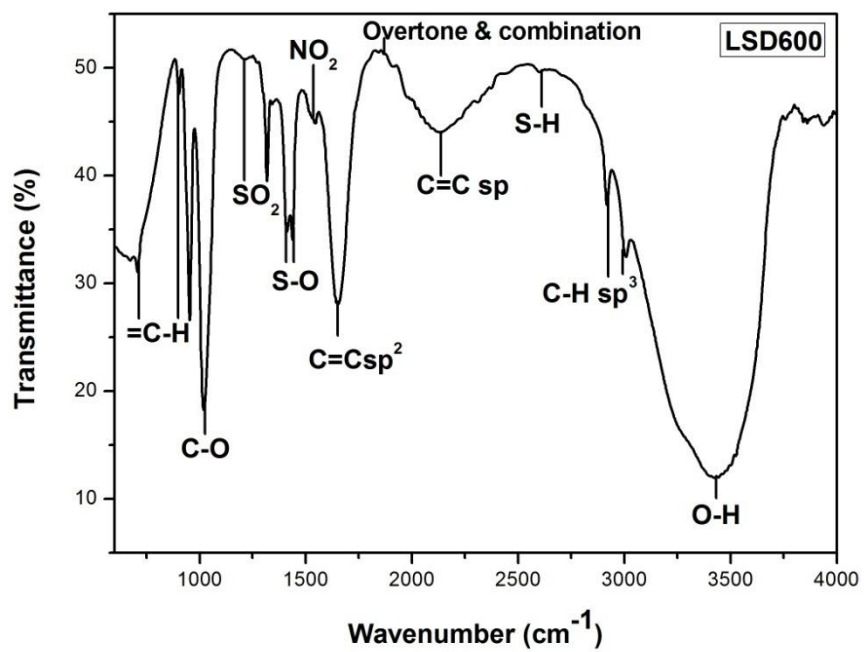
Gambar 5. Spektra inframerah NS600



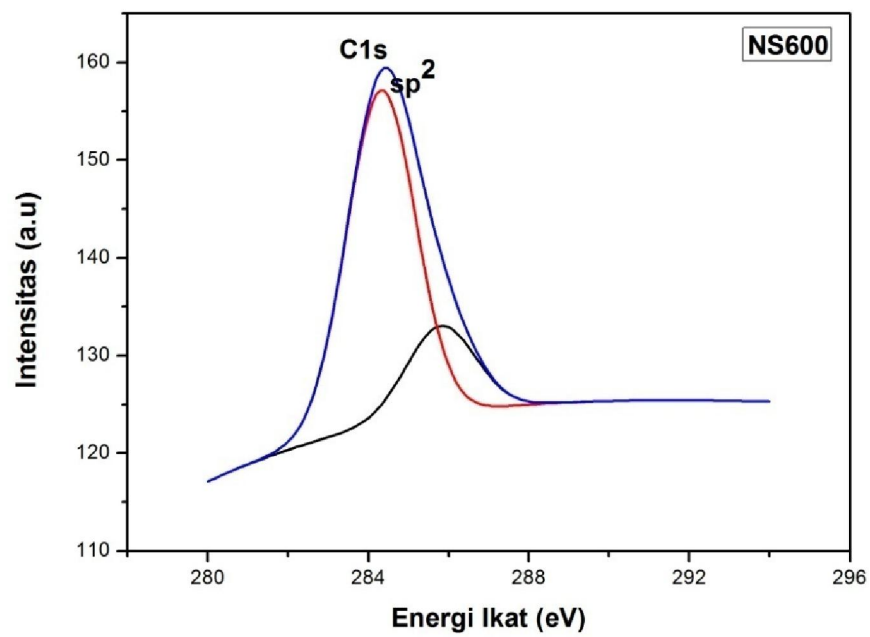
Gambar 6. Spektra inframerah NSD600



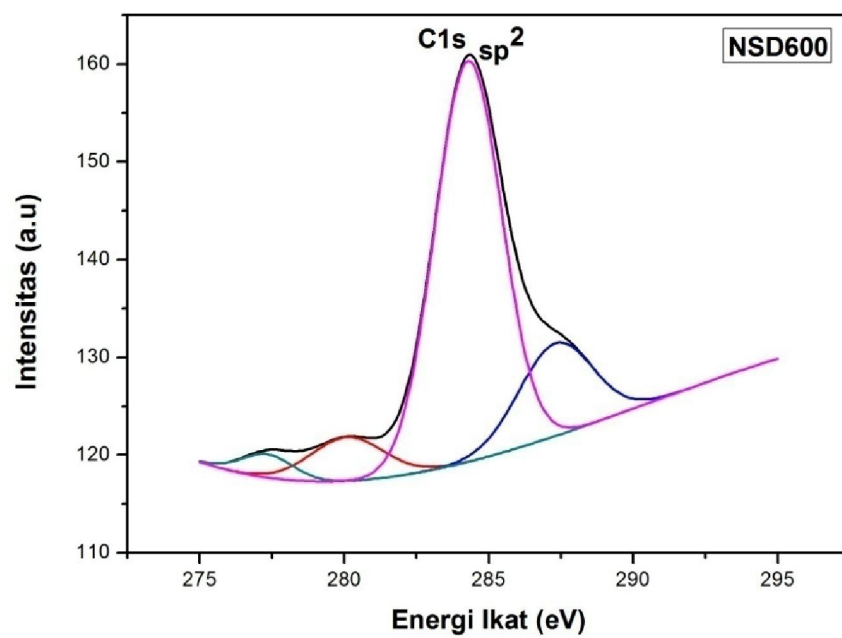
Gambar 7. Spektra inframerah LS600



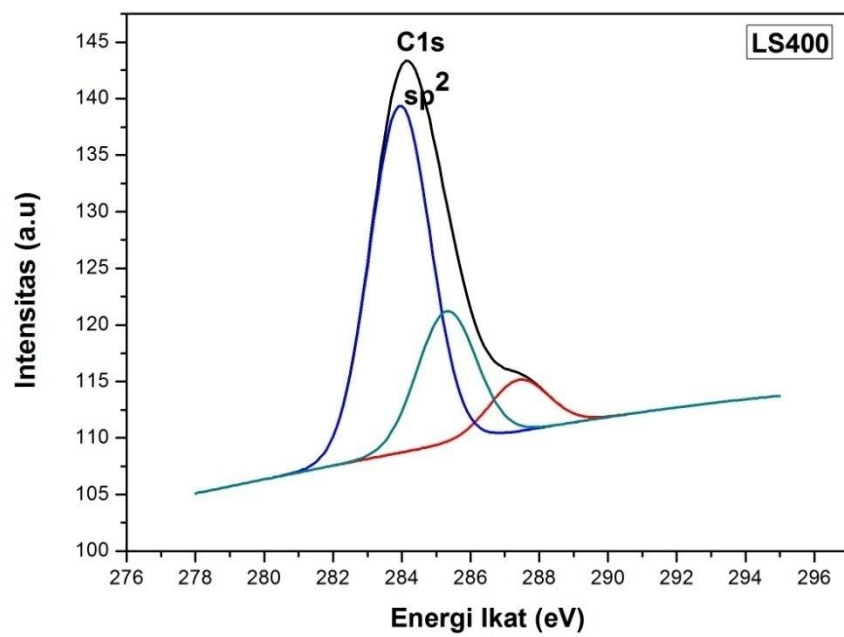
Gambar 8. Spektra inframerah LSD600



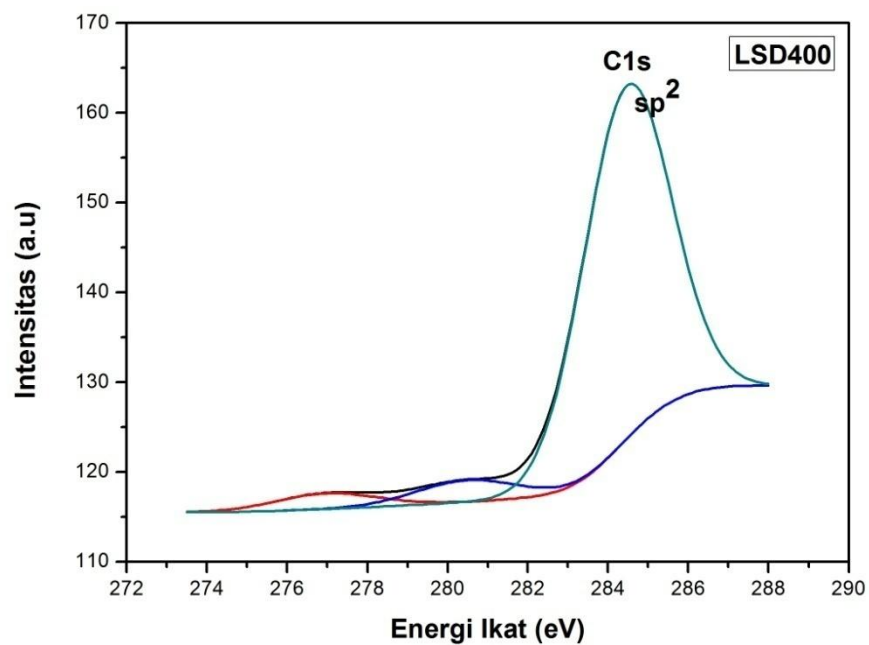
Gambar 9. Hasil *fitting* puncak C1s NS600



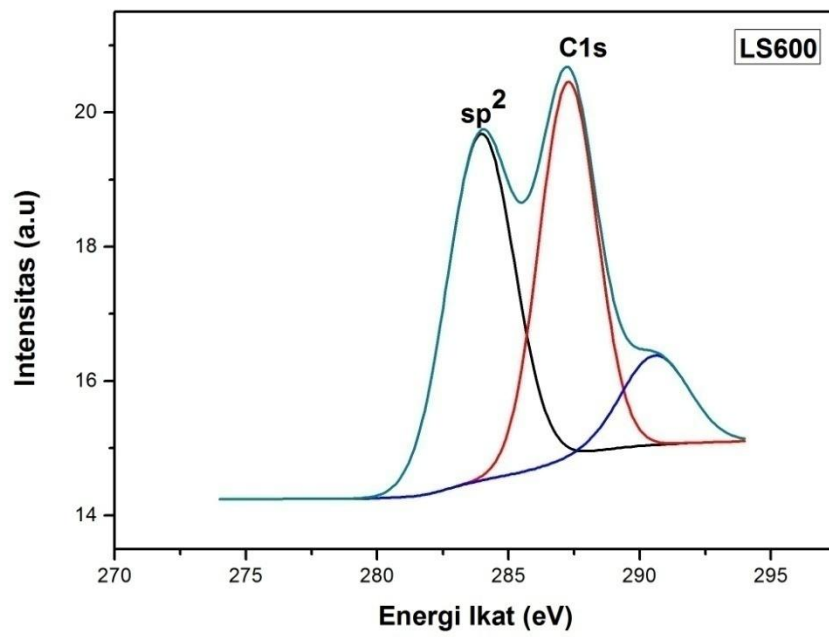
Gambar 10. Hasil *fitting* puncak C1s NSD600



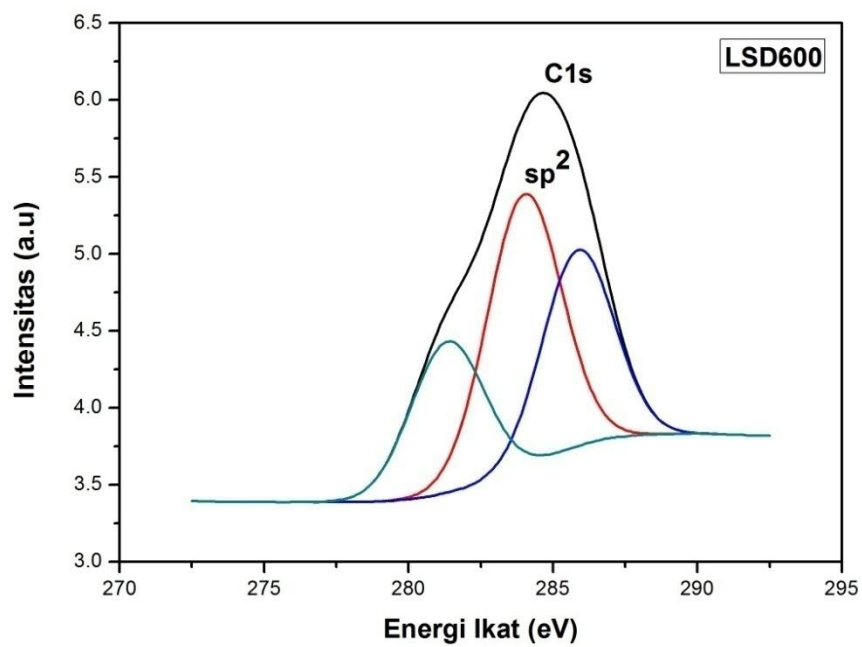
Gambar 11. Hasil *fitting* puncak C1s LS400



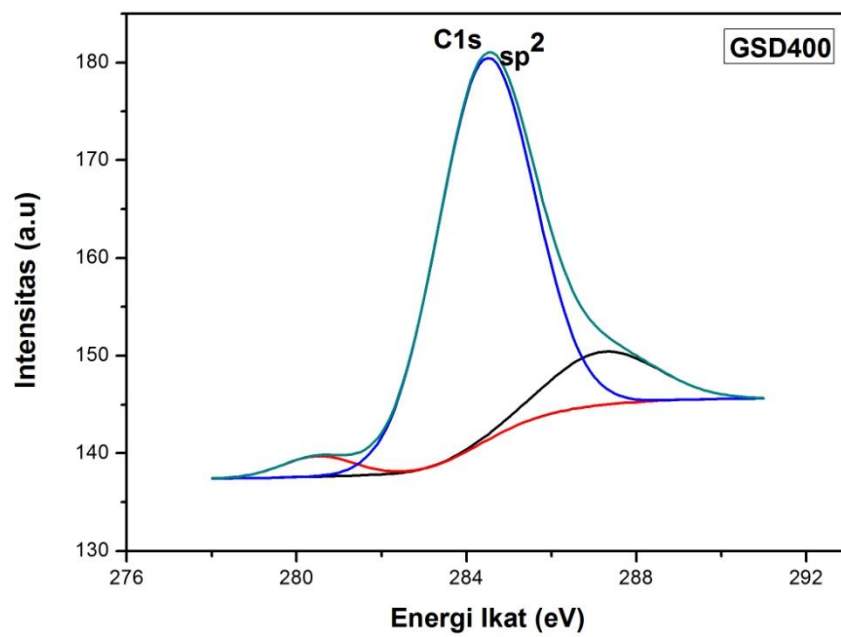
Gambar 12. Hasil *fitting* puncak C1s LSD400



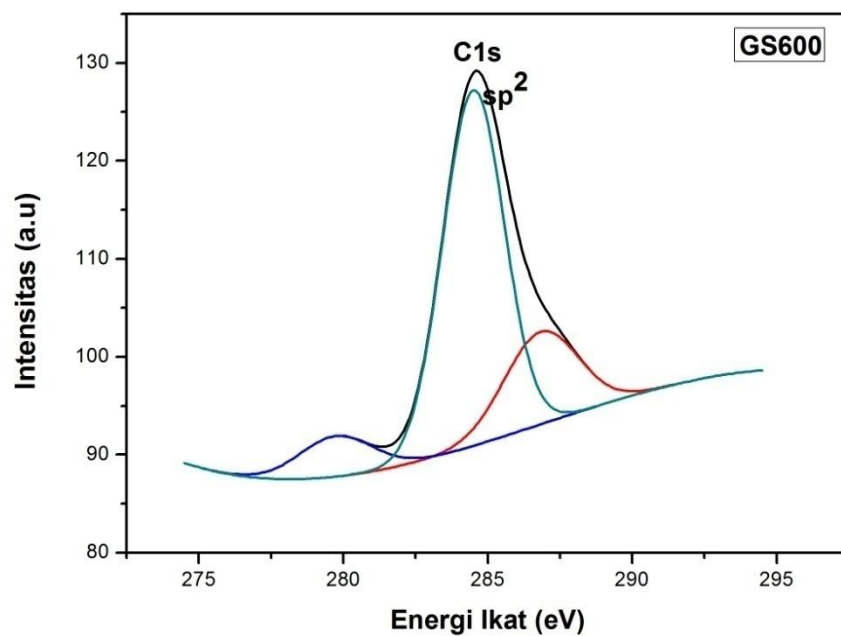
Gambar 13. Hasil *fitting* puncak C1s LS600



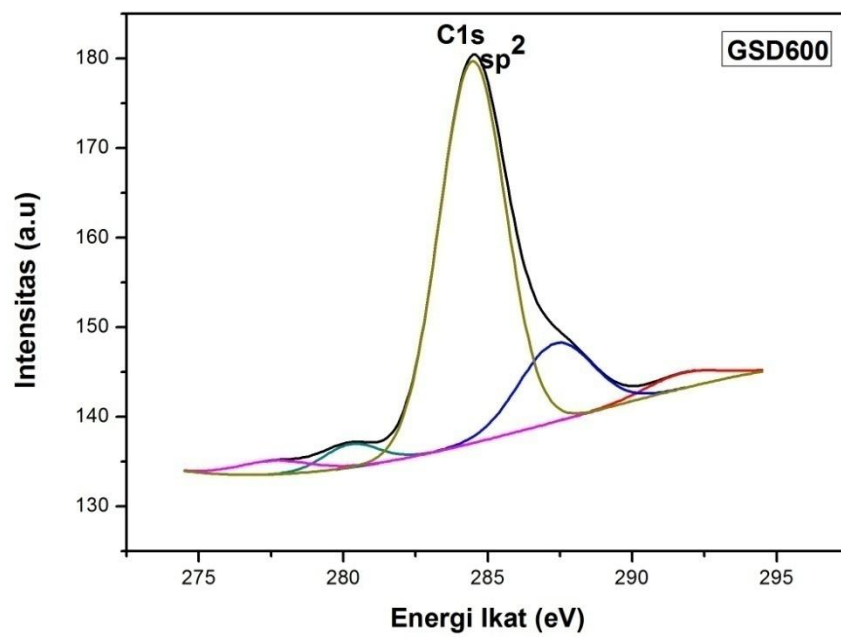
Gambar 14. Hasil *fitting* puncak C1s LSD600



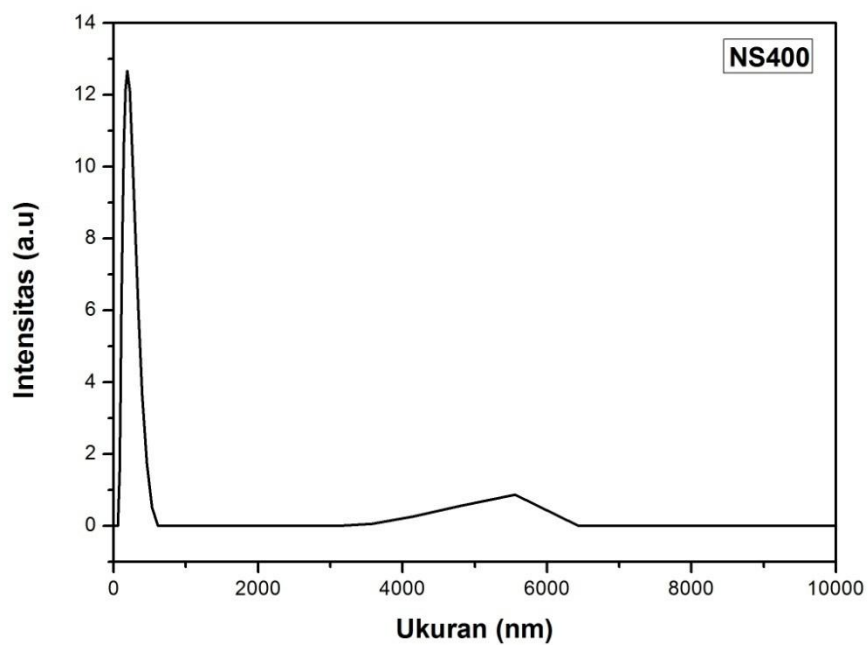
Gambar 15. Hasil *fitting* puncak C1s GSD400



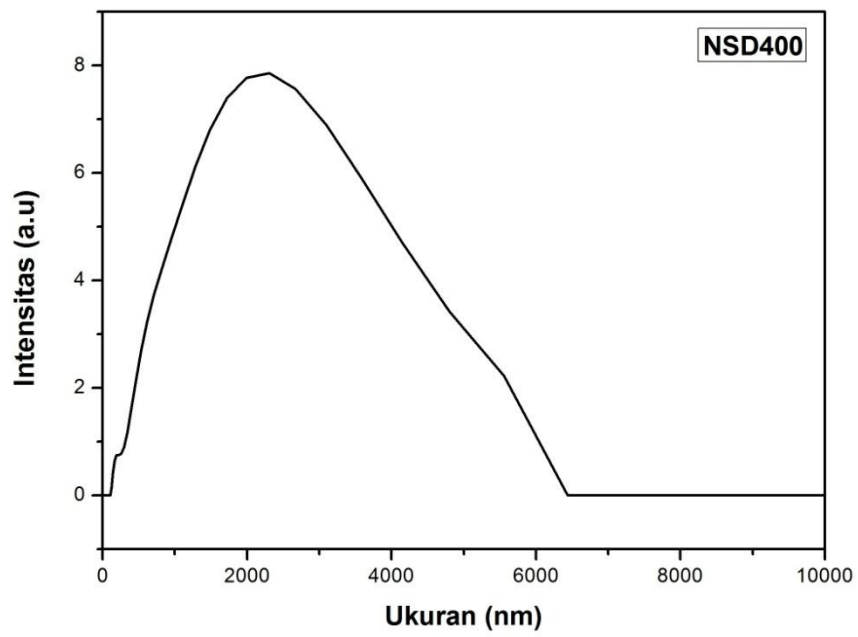
Gambar 16. Hasil *fitting* puncak C1s GS600



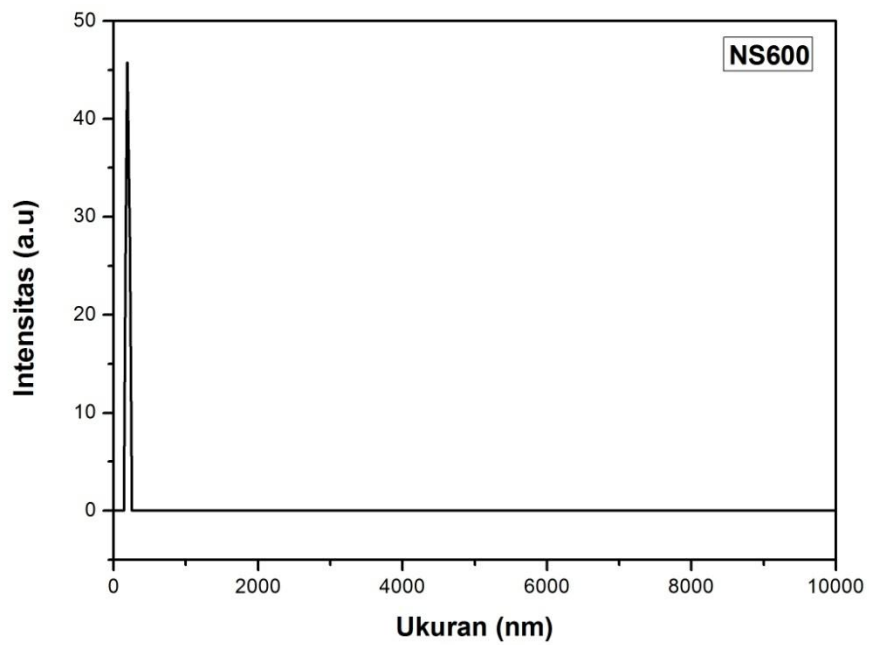
Gambar 17. Hasil *fitting* puncak C1s GSD600



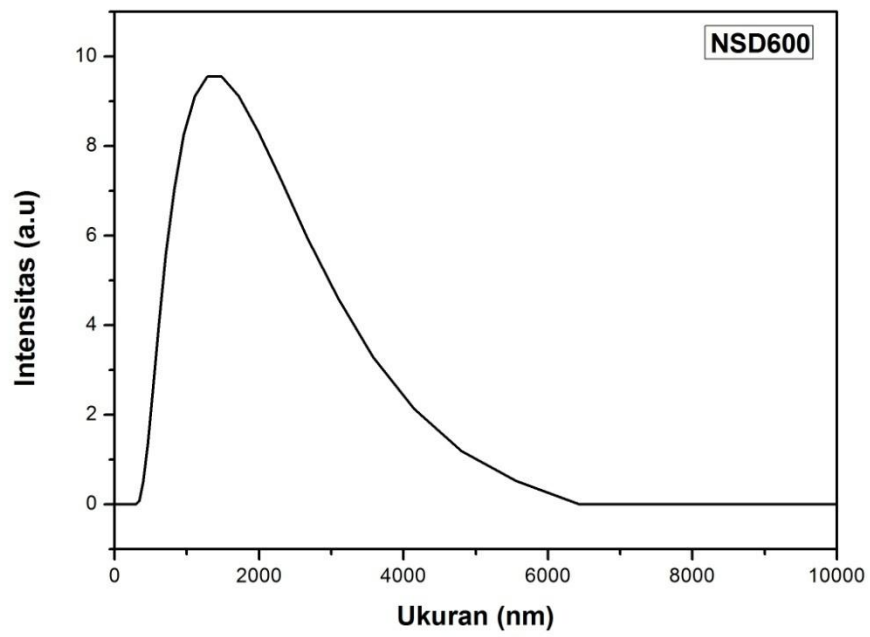
Gambar 18. Distribusi ukuran partikel NS400



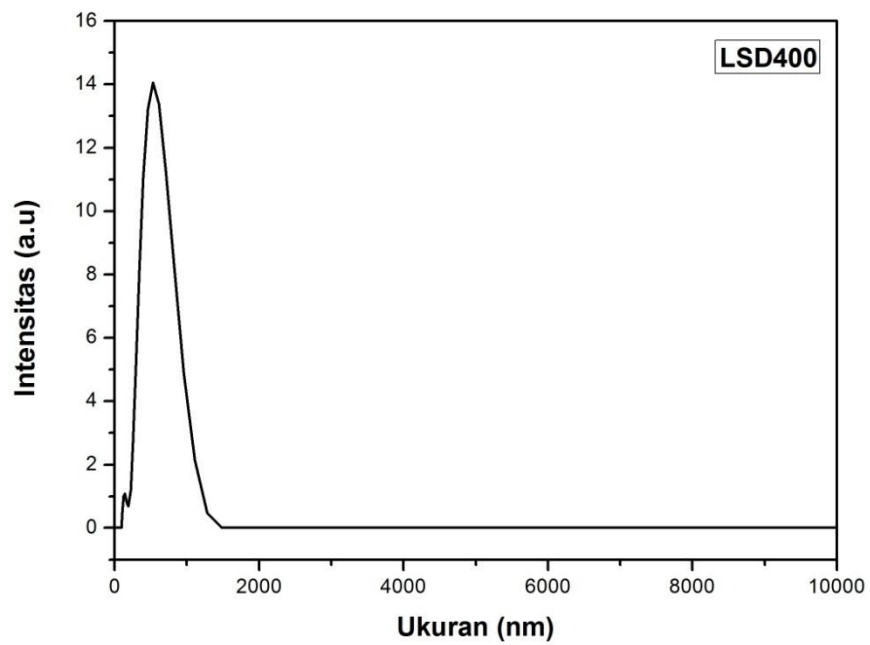
Gambar 19. Distribusi ukuran partikel NSD400



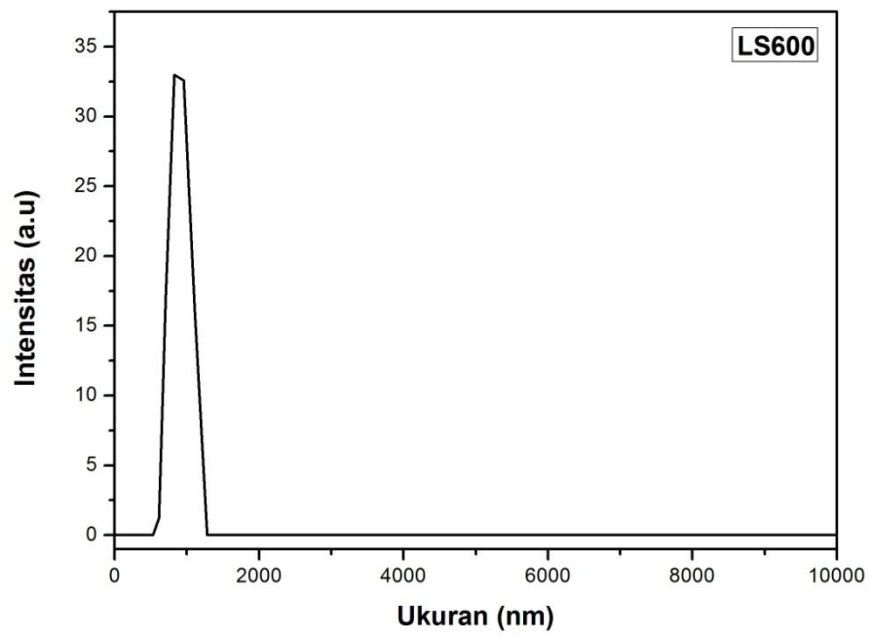
Gambar 20. Distribusi ukuran partikel NS600



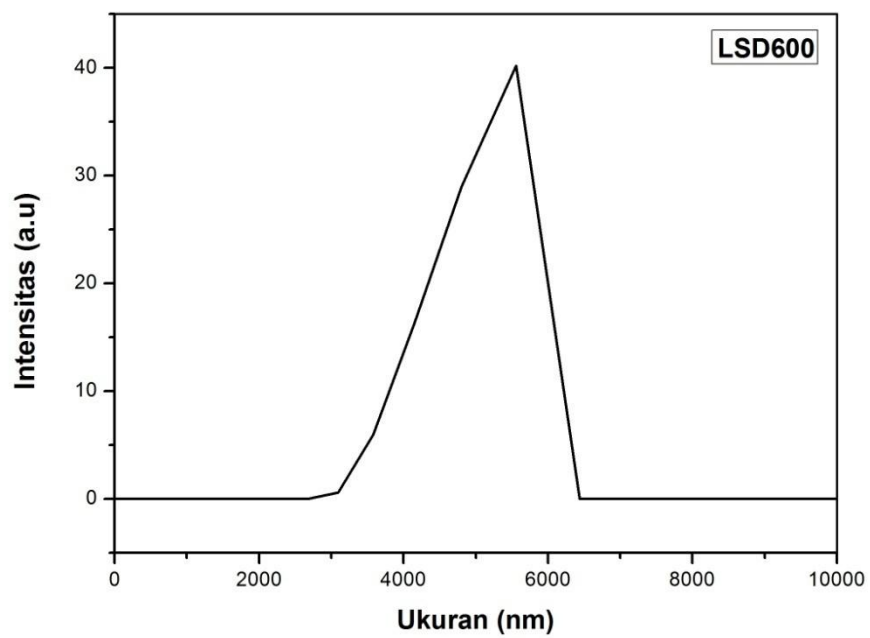
Gambar 21. Distribusi ukuran partikel NSD600



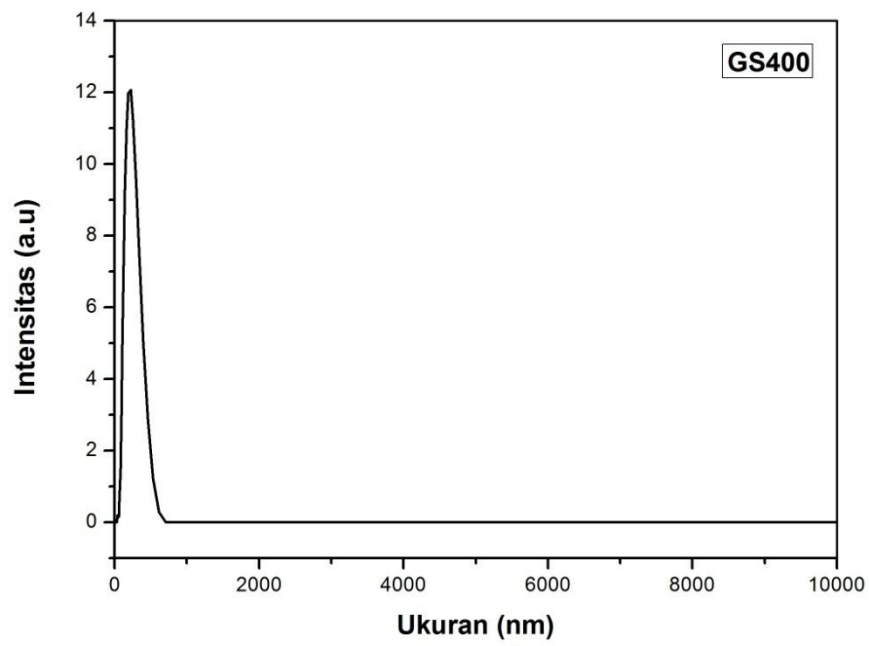
Gambar 22. Distribusi ukuran partikel LSD400



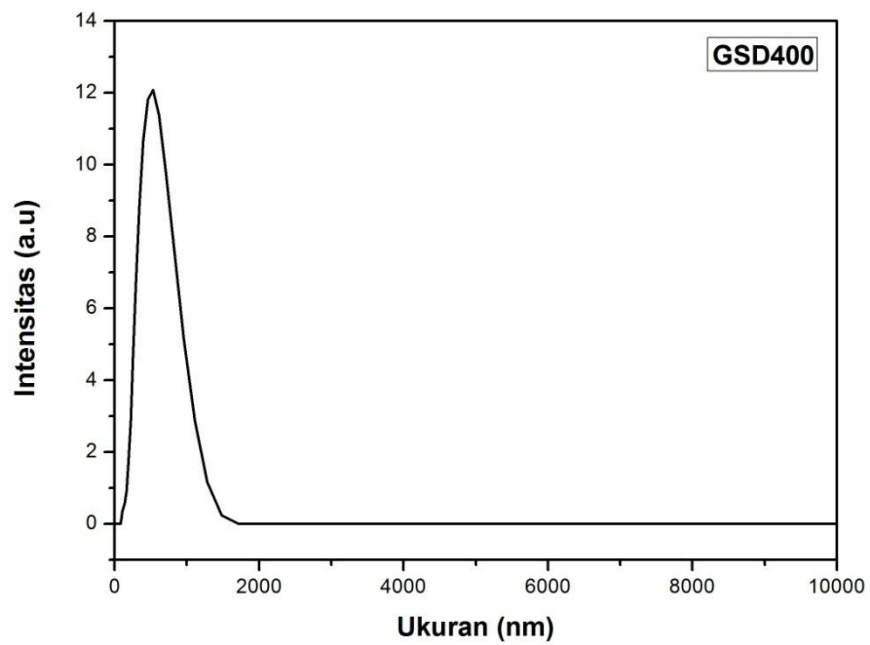
Gambar 23. Distribusi ukuran partikel LS600



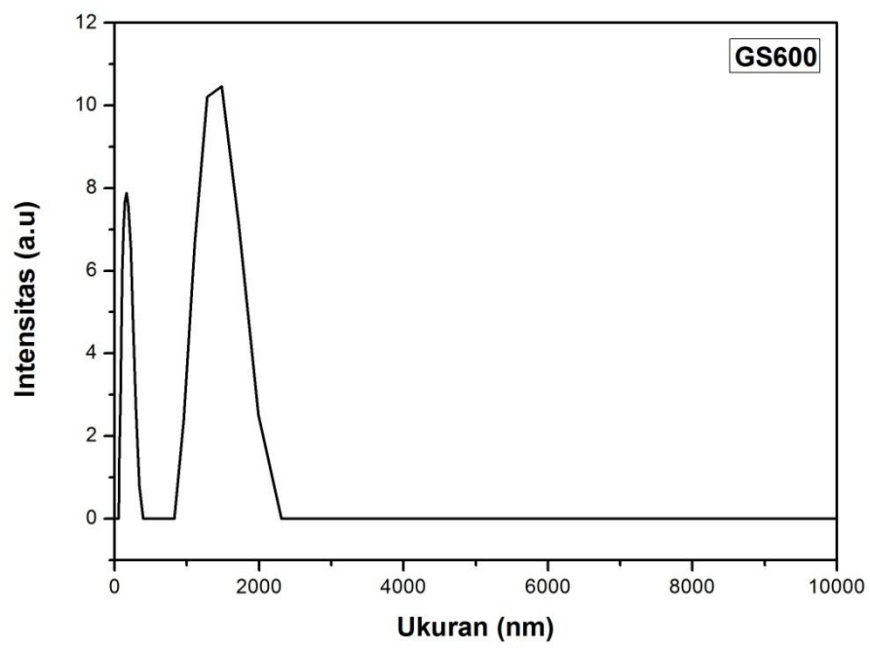
Gambar 24. Distribusi ukuran partikel LSD600



Gambar 25. Distribusi ukuran partikel GS400



Gambar 26. Distribusi ukuran partikel GSD400



Gambar 27. Distribusi ukuran partikel GS600

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Mukarromah, akrab dipanggil Mumu. Penulis lahir di Bangkalan pada tanggal 07 Juli 1995 dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Mundari dan Ibu Mahmudah. Penulis telah menempuh pendidikan formal SDN Batonaong 02, MTs. Ali Imron, dan SMA Darut Taqwa. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan formal di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang jurusan Fisika. Penulis masuk dalam bidang minat fisika material dengan topik penelitian solar sel. Selama studi S1 penulis aktif dalam organisasi HTQ UIN Maliki Malang.

Kemudian pada tahun 2017 penulis melanjutkan studi S2 di Jurusan Fisika Fakultas Sains-Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan NRP 01111750010007. Penulis masuk ke bidang minat fisika material dengan topik penilitan bahan alam yaitu karbon amorf dibawah bimbingan Prof. Dr. Darminto. Selama studi S2 penulis aktif dalam kegiatan sosial “Indahnya Berbagi” juga menjadi salah satu perintis dan pengajar MTs. Muhyiddin Qur’aniy di pesantren tempat penulis bermukim selama studi S2. Penulis dapat dihubungi melalui email mukarromah.mu7@gmail.com.