

SIFAT OPTOELEKTRONIK WS₂ YANG DIMODIFIKASI DENGAN METODE EKSFOLIASI FASE CAIR

OPTOELECTRONIC PROPERTIES of WS₂ COMPOUND MODIFIED BY LIQUID PHASE EXFOLIATION METHOD

Akram Muhamad Rafli¹, I. P. Handayani^{2*}, Muhammad Nasir³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³ Loka Penelitian Teknologi Bersih, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

akrammuhamadr@telkomuniversity.ac.id¹, iphandayani@telkomuniversity.ac.id² (*corresponding author), mnasir71@yahoo.com³

Abstrak

pada tugas akhir ini penulis melakukan penelitian dengan tujuan untuk mengamati sifat listrik dan sifat optoelektronik lapisan tipis WS₂. WS₂ dimodifikasi dengan eksfoliasi fase cair. Karakterisasi dilakukan dengan mengamati kurva I-V saat sebelum diberi gangguan, saat diberi gangguan dan setelah diberi gangguan eksternal berupa cahaya. Hasil karakterisasi kurva I-V WS₂ yang dideposisi diatas substrat *polyethylene terephthalate* (PET) menunjukkan secara umum WS₂ bersifat insulator dengan fluktuasi nilai arus di sebagian sampel. Arus yang mengalir pada sampel sebelum diberi cahaya sebesar -0.87 sampai 1.24 nA saat tegangan divariasi dari -5 sampai 5 V dengan nilai resistansi 3.6842 GΩ. Setelah tidak diberi cahaya nilai arus berubah menjadi -0.61 sampai 0.717 nA dengan nilai resistansi 6.59 GΩ. Nilai arus saat diberi cahaya mengalami fluktuasi dan perlu diteliti lebih lanjut. Selain itu, pada penelitian ini dilakukan juga karakterisasi Raman, photoluminescence (PL) dan Uv-Vis. Hasil karakterisasi Raman menunjukkan sampel masih berbentuk *multilayer* dengan munculnya puncak vibrasi $E'_{2g}(T)$ pada 354.9 cm⁻¹ dan $A_{1g}(T)$ pada 420 cm⁻¹ dengan selisih 65.1 cm⁻¹. Hasil karakterisasi PL muncul pada puncak 650 nm menandakan adanya kontribusi eksiton pada sampel *multilayer*. Karakterisasi Uv-Vis pada puncak exciton A 638.2 dan B 530.6 nm menandakan WS₂ masih tersusun dalam *multilayer*.

Kata Kunci: WS₂, eksfoliasi fase cair, Sifat Listrik, sifat optoelektronik, Raman spektroskopi, Photoluminescence

Abstract

In this final task, the authors studies the optoelectronic properties of the WS₂ thin layer. The WS₂ is modified with liquid-phase exfoliation and deposited on top of the polyethylene terephthalate (PET) substrate. The I-V characteristic curves were observed before and after light illumination as well as when the sample was illuminated by the green light. In general, the WS₂ thin film shows insulating behavior. The current was observed to be fluctuated in several samples. Without light illumination, the currents were -0.87 to 1.24 nA when the voltage was varied from -5 to 5 V. The current resistance is about 3.6842 GΩ. After light illumination, the current changes to -0.61 to 0.717 nA with a resistance value of 6.59 GΩ. Light induces current fluctuation in several samples. Besides, the samples were also characterized by Raman, photoluminescence, and Uv-Vis spectroscopy. of the multilayer characteristics is evidenced by the vibration peaks of $E'_{2g}(T)$ at 354.9 cm⁻¹ and $A_{1g}(T)$ at 420 cm⁻¹ with a difference of 65.1 cm⁻¹. A photoluminescence peak of 650 nm indicates the contribution of exciton in multilayer samples. The Uv-Vis characterization at peaks A 638.2 and B 530.6 nm also suggests that the WS₂ thin film is still composed in multilayers.

Keywords: WS₂, liquid phase, electrical properties, optoelectronic properties, Raman spectroscopy, Photoluminescence

1. Pendahuluan

Penelitian tentang lapisan tipis berketebalan nanometer telah memberikan terobosan baru dibidang ilmu pengetahuan maupun teknologi. Material yang sering digunakan dalam pembuatan lapisan tipis berketebalan nanometer adalah Logam Transisi Dichalcogenide atau Transition Metal Dichalcogenide Compound (TMDC) yang memiliki rumus molekul TX₂ dengan T= Mo,W dan X adalah S,Se,Te [1]. Tungsten Disulfide (WS₂) termasuk dalam kategori TMDC yang memiliki indirect band gap sebesar 1.4 eV saat berbentuk bulk dan direct band gap ~2.1 eV saat berbentuk lapisan tunggal [2]. WS₂ memiliki dua ikatan berbeda dalam lapisannya yaitu ikatan Van Der Waals di antara lapisan-lapisan yang berbeda dan ikatan kovalen pada lapisan yang sama [2], sehingga

memungkinkan untuk dimodifikasi menjadi lapisan tipis monolayer [3]. WS₂ banyak digunakan dalam berbagai perangkat dengan kegunaan sebagai, Light-Emitting Diode (LED), fotodetektor, dan dalam elektronik fleksibel [4].

Untuk menghasilkan lapisan tipis dari WS₂ dilakukan dengan berbagai metode seperti Mechanical Exfoliation [5] dan Liquid Phase Exfoliation [6]. Mechanical Exfoliation adalah metode yang paling sederhana. Pada metode ini digunakan selotip untuk mengelupas lapisan kristal WS₂ dan kemudian ditempelkan pada substrat [5]. Kekurangan metode ini adalah bentuk, ketebalan dan ukuran lapisan yang tidak konsisten [18]. Liquid Phase Exfoliation atau eksfoliasi fase cair adalah metode untuk menghasilkan lapisan tipis dengan proses sonikasi untuk memecah lapisan sampai lapisan tunggal [6]. Pada proses ini, WS₂ dalam bentuk serbuk dicampur dengan NaOH yang di masukan ke dalam larutan 2-Propanol/aquadest (IPA/Air) lalu disonikasi selama satu jam dengan point probe (sonic tip) [6]. NaOH bekerja sebagai interkalator untuk menyisip ke dalam lapisan untuk membantu pecahnya lapisan hingga menghasilkan lapisan tipis [9]. Penelitian dengan menggunakan metode eksfoliasi fase cair telah dilakukan sebelumnya. Lapisan yang dihasilkan mencapai 1 sampai 5 lapisan dengan ukuran lateral 50 sampai 1000 nm [6]. Pada

Penelitian sebelumnya telah dilakukan uji sifat mekanik dari lapisan tipis WS₂ dengan cara ditarik. Pada penelitian tersebut diperoleh modulus young sebesar 2 GPa, tensile strength sebesar 7 MPa dan regangan sebelum putus (ϵ_b) sebesar 0.007 [6]. pada penelitian sebelumnya juga telah dilakukan uji listrik dari transistor berbahan WS₂[7]. Dari penelitian tersebut didapat nilai arus drain sebesar 0,1nA saat tegangan gate 0 V [7]. Dengan dimensi luas 17 μm^2 , panjang 6,8 μm dan lebar 2,8 μm diperoleh resistivitas bernilai 17,5 $\text{G}\Omega \cdot \mu\text{m}$ [7].

Berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya mengenai uji listrik dari transistor berbahan WS₂ maka dalam pengerjaan tugas akhir ini, Penulis melakukan uji listrik terhadap lapisan tipis WS₂ di atas substrat PET untuk mendapatkan kurva I-V. Penulis juga menguji sifat listrik sebelum, sedang dan sesudah diberi cahaya pada lapisan tipis WS₂. Selain itu, Penulis melakukan karakterisasi lapisan tipis WS₂ dengan menggunakan Uv-Vis, Raman spektroskopi dan photoluminescence untuk mengetahui sifat optik dan lapisan tunggal dari WS₂. Substrat tersebut dipilih karena sifat mekanik dari substrat tersebut memungkinkan untuk diukur sifat elastisnya dan dapat diaplikasikan pada elektronik fleksibel. Diharapkan dengan melakukan berbagai karakterisasi tersebut dapat membantu memahami karakteristik lapisan tipis WS₂ dalam membuat berbagai perangkat elektronik, optoelektronik, penyimpanan data, sensor dan elektronik fleksibel.

2. Perancangan Penelitian

2.1 Proses Modifikasi Serbuk WS₂

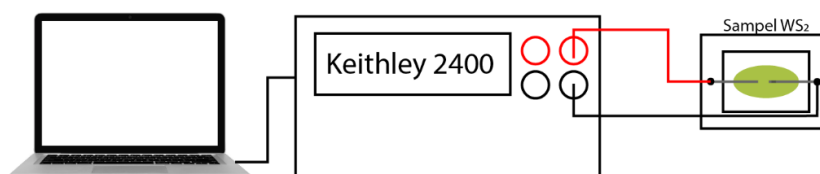
Serbuk WS₂ dieksfoliasi dengan metode eksfoliasi fase cair. Pertama serbuk WS₂ dilarutkan dengan menggunakan pelarut IPA/Aquadest 7/3 v/v dan NaOH dengan konsentrasi WS₂ 5 mg/mL. Campuran antara serbuk dan larutan-larutan tersebut akan disonikasi menggunakan ultrasonikator *probe* sonik tip selama 2 jam. Setelah disonikasi, selanjutnya larutan akan disentrifugasi selama 60 menit dengan kecepatan 3000 rpm untuk memisahkan endapan WS₂ yang berat dengan endapan yang lebih ringan (*supernatant*). Kemudian, *supernatant* dipisahkan ke wadah lain.

2.2 Deposisi

Proses deposisi lapisan dengan menggunakan metode *drop casting*. Larutan yang telah disonikasi diambil dengan menggunakan *micropipette* dengan ukuran 5 μl dan ditetaskan ke atas substrat PET.

2.3 Pengukuran Sifat Listrik

Pengukuran sifat listrik dilakukan dengan menggunakan Keithley 2400 untuk mendapatkan kurva I-V. proses pengukuran dimulai dengan membuat elektroda dengan menggunakan pasta perak, elektroda kemudian dihubungkan dengan *source meter* keithley 2400 yang terkoneksi pada laptop untuk memberi tegangan. Hasil pengukuran dapat dilihat melalui perangkat lunak bernama *KickStart* pada laptop. Hasil yang didapat dari karakterisasi kurva I-V dapat dianalisis untuk mengetahui resistivitas lapisan WS₂ pada substrat. Skema pengukuran menggunakan keithley 2400 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2.1. Skema pengukuran sifat listrik Lapisan WS₂ diatas substrat.

Pada gambar 2.1. Sampel yang telah dibuat dalam elektroda dikoneksikan ke *source meter* dari keithley 2400, kemudian keithley 2400 di koneksikan ke laptop untuk memberi tegangan dan menampilkan kurva I-V.

2.4 Karakterisasi Raman Spektroskopi dan Photoluminescence

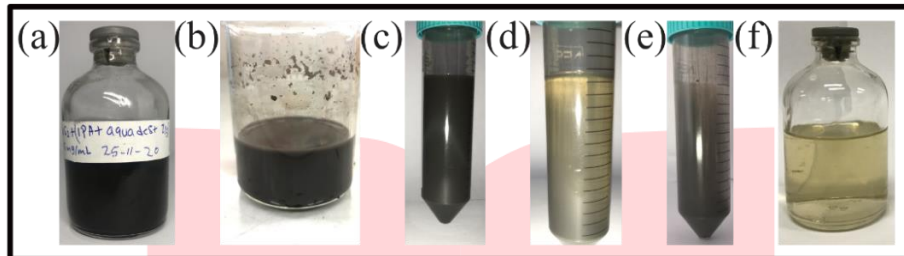
Karakterisasi Raman dan Photoluminescence dilakukan di laboratorium karakterisasi riset center Universitas Indonesia menggunakan Horiba LabRAM Hr Evolution Micro Confocal Hyperspectral 3D Imaging Raman Spectrometer.

2.5 Karakterisasi Optik dengan Uv-Vis

Karakterisasi optik dengan menggunakan Uv-Vis dilakukan di Loka Penelitian Teknologi Bersih Lipi Bandung dengan menggunakan Agilent Cary 60 UV-VIS untuk mengetahui lapisan tunggal WS₂.

3. Hasil dan Pembahasan

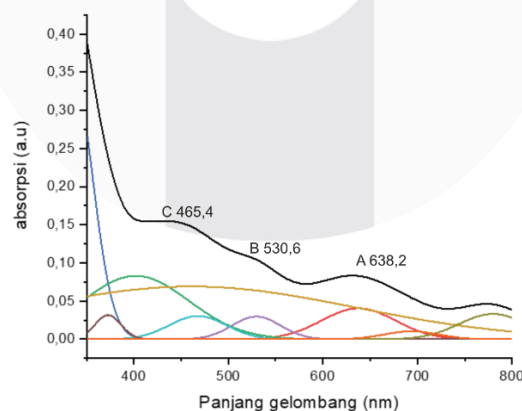
3.1 Modifikasi WS₂ dengan Metoda Eksfoliasi Fase Cair



Gambar 3. 1 Campuran 5mg/ml WS₂ didalam 7/3 IPA/air dengan beberapa tetes NaOH 0.05M (a) sebelum disonikasi, (b) setelah disonikasi selama 2 jam, (c) sebelum disentrifugasi, (d) setelah disentrifugasi, (e) endapan WS₂ setelah dipisahkan dari supernatan dan (f) Supernatan WS₂.

Gambar 3.1 menunjukkan campuran 5 mg/ml WS₂ dengan beberapa tetes NaOH 0.05 M di dalam 7/3 IPA/air sebelum dan setelah disonikasi. Gambar 3.1 (a) menunjukkan dispersi WS₂ sebelum disonikasi berwarna hitam pekat. Sedangkan setelah disonikasi selama 2 jam dispersi berubah warna menjadi hitam kecoklatan, lebih cerah jika dibandingkan dengan yang belum disonikasi seperti terlihat pada gambar 3.1 (b). Gambar 3.1 (c-d) menunjukkan dispersi WS₂ sebelum dan sesudah disentrifugasi. Dapat dilihat perubahan warna setelah disentrifugasi dispersi menjadi lebih terang karena dispersi yang berat akan mengendap seperti gambar 3.1 (e). Warna kuning muncul akibat adanya photoluminesensi yang dihasilkan oleh lapisan tunggal yang ada pada larutan. Semakin besar konsentrasi lapisan tunggal warna kuning akan semakin pekat. Gambar 3.1 (f) supernatant atau dispersi yang telah dipisahkan dari endapannya setelah disentrifugasi. Setelah itu supernatant dideposisi diatas substrat untuk dikarakterisasi.

3.2 Karakterisasi Uv-Vis

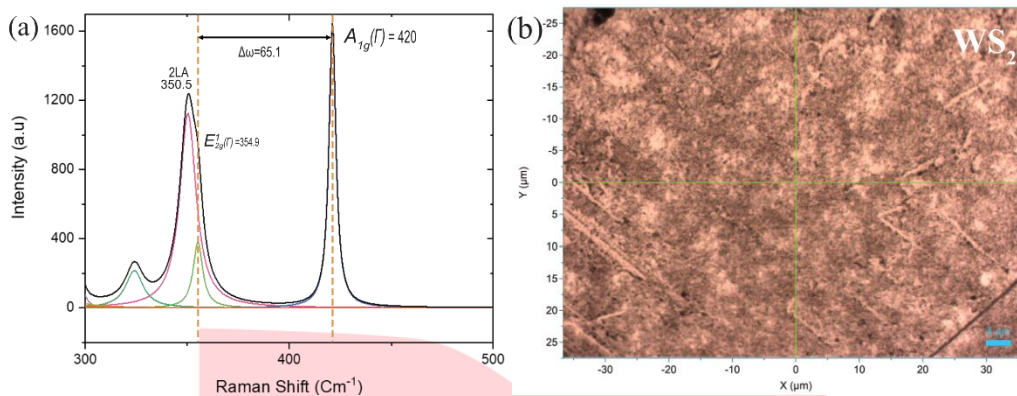


Gambar 3. 2 Spektrum Uv-Vis WS₂

Sifat optik dipelajari dengan mengamati spektrum serapan uv-vis seperti pada Gambar 3.2. Pada Gambar 3.2 menunjukkan spektrum Uv-Vis WS₂ dengan rentang 350 – 800 nm. Pada spektrum serapan Uv-Vis terdapat dua puncak serapan eksiton A dan B pada 638 dan 531,98 nm. Puncak A dan B merupakan puncak serapan eksiton pada *direct gap* WS₂ [9-10]. Serapan pada puncak A dan B dapat menggambarkan energi ikatan eksiton dengan cara membandingkan dengan puncak C. Celah pita pada A dan B adalah sebesar 1.9427 eV dan 2.3367 eV. Hasil karakterisasi dengan Uv-vis pada puncak 638.2 dan 530.6 nm menandakan WS₂ masih tersusun dari multilayer

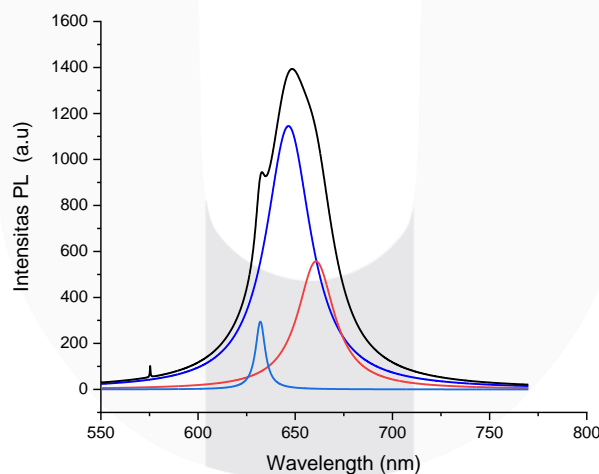
[9]. Daerah antara A dan B berkaitan dengan pemisahan pita valensi minimum akibat *spin-orbit coupling*. Puncak lain dengan label C pada 465.4 nm merupakan transisi keadaan energi antara pita valensi dan pita konduksi dan dapat digunakan untuk menentukan celah pita energi.

3.3 Karakterisasi Raman Spektroskopi dan Photoluminescence



Gambar 3. 3(a) spektrum Raman dari lapisan tunggal WS₂, dan (b) citra confocal mikroskop dari lapisan tunggal WS₂

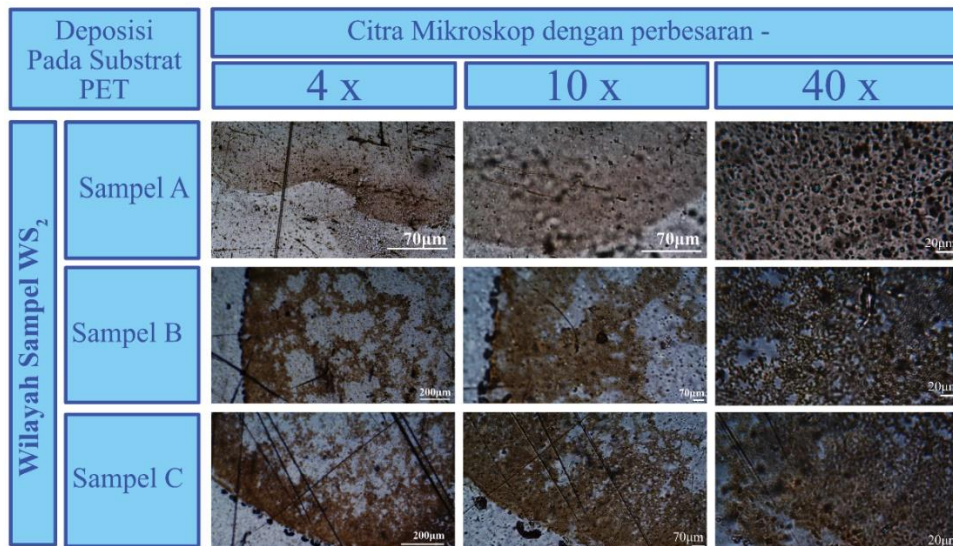
Hasil analisis Raman spektroskopi digunakan untuk mengonfirmasi lapisan tunggal WS₂ melalui perbedaan mode vibrasi $E_{2g}^I(T)$ dan $A_{1g}(T)$. Spektrum raman dieksitasi oleh laser hijau dengan Panjang gelombang 532 nm dan di-*fitting* menggunakan fungsi distribusi Lorentzian. Pada Pada Gambar 3.3 (a) diperlihatkan spektrum Raman lapisan tunggal WS₂ pada rentang 300 – 500 cm⁻¹ dua puncak lapisan tunggal WS₂ teramati pada 354.9 dan 420 cm⁻¹ yang sesuai dengan mode vibrasi $E_{2g}^I(T)$ dan $A_{1g}(T)$ menurut penelitian sebelumnya [11-12]. Selisih frekuensi antara $E_{2g}^I(T)$ dan $A_{1g}(T)$ dapat digunakan untuk menentukan jumlah lapisan dari atom 2D [12]. Pada frekuensi yang telah dihitung dari lapisan tunggal WS₂ adalah 65.1 cm⁻¹ yang menandakan WS₂ tersusun dari ~3-5 lapisan [13]. Gambar 3.3 (b) menunjukkan citra dari Lapisan tunggal WS₂.



Gambar 3.4 Spektrum Photoluminescence WS₂

Hasil analisis spektrum photoluminescence mengonfirmasi adanya lapisan tunggal WS₂ yang bercampur dengan multilayer. Spektrum photoluminescence dieksitasi oleh laser hijau dengan panjang gelombang 532 nm dan di-*fitting* menggunakan fungsi distribusi Lorentzian. Pada Gambar 4.3 menunjukkan spektrum photoluminescence dari WS₂ pada substrat PET dengan rentang 350 – 800 nm. Pada spektrum tersebut menurut referensi [14,15] puncak photoluminescence yang terlihat pada panjang gelombang ~ 650 nm merupakan akibat dari serapan eksiton A. nilai intensitas dari photoluminescence bergantung pada jumlah lapisan dari WS₂ saat berbentuk lapisan tunggal maka nilai intensitas akan besar dan sebaliknya saat berbentuk multilayer [14,15]. Eksiton A pada ~ 650 nm menurut referensi menandakan lapisan tunggal WS₂ terdiri dari ~5 lapisan [14]. Eksiton merupakan pasangan elektron hole yang tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi saat diberi energi foton dari laser hijau. Setelah tereksitasi elektron akan tereksitasi ke pita valensi dan mengemisikan energi cahaya.

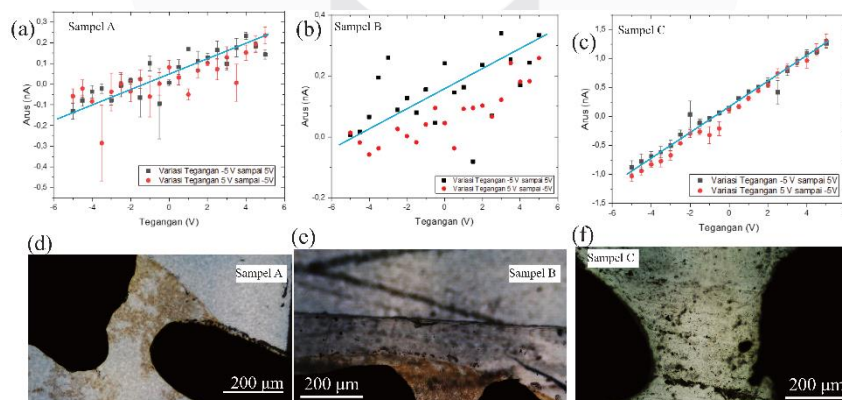
3.4 Hasil Deposisi Substrat



Gambar 3.5 Citra mikroskop lapisan tunggal WS₂ diatas Substrat PET dengan perbesaran 4, 10 dan 40 kali.

Pada Gambar 3.5 menampilkan citra mikroskop lapisan tunggal WS₂ yang dideposisi diatas substrat PET menggunakan mikropipet. Setelah dideposisi, citra diamati dengan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 4, 10 dan 40 kali. Pada Gambar 3.5 sampel A dan B merupakan lapisan WS₂ yang dideposisi dari sampel dibeli dari *Graphene Supermarket* dan sampel C merupakan sampel WS₂ yang dibuat di lab dengan sonikator bath. Terlihat sampel C lebih tipis dari sampel Adan B. Namun sampel A dan B lebih rata dari sampel C. Dari Gambar diatas lebar lapisan rata-rata WS₂ dapat diamati dengan perbesaran 10 kali. Pada sampel A, B, C masing-masing memiliki lapisan rata-rata sebesar $161.43 \pm 35.15 \mu\text{m}$, $121.04 \pm 82.97 \mu\text{m}$, $27 \pm 9.83 \mu\text{m}$. pengamatan lebar celah antar lapisan diamati dengan perbesaran 40 kali. Untuk sampel A, B dan C masing-masing memiliki celah antar lapisan rata-rata sebesar $12.6 \pm 7.5 \mu\text{m}$, $29.61 \pm 17.01 \mu\text{m}$, $18.53 \pm 4.8 \mu\text{m}$.

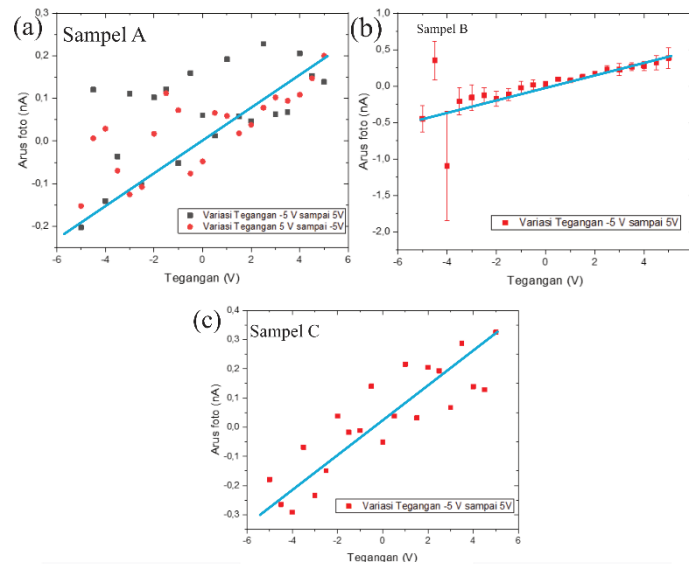
3.4 Sifat Listrik



Gambar 3. 3 Kurva Karakterisasi I-V (a-c) dan citra elektroda dengan perbesaran 4 kali (d-f) dari lapisan tunggal WS₂. (a dan d) Sampel A. (b dan e) Sampel B. (c dan f) Sampel B.

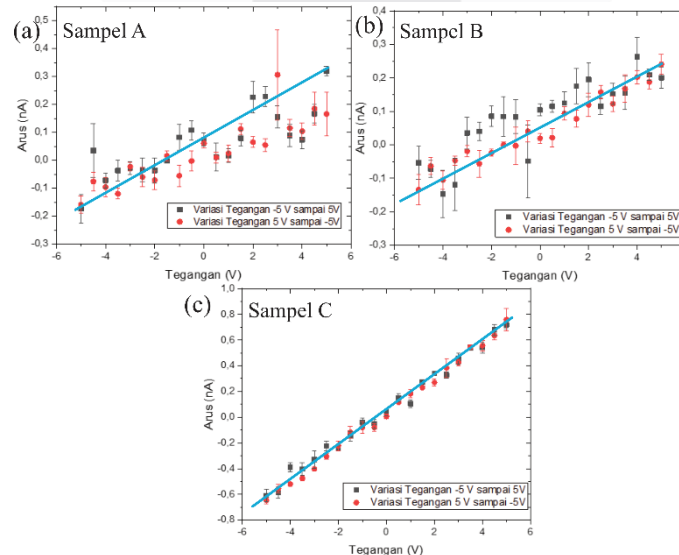
Gambar 3.6 (a-c) merupakan kurva I-V dari samppelel A, B dan C. Sampel A dan B merupakan sampel dari *graphene supermarket* sedangkan sampel C merupakan sampel yang dibuat di lab material Telkom. Gambar 3.6 (a) menunjukkan prilaku kurva I-V milik sampel A yang cenderung fluktuatif dengan Arus mengalir dari -1.2 sampai 1.4 nA. Gambar 3.6 (d) menampilkan citra elektroda sampel B (Gambar 3.6 (a)) yang memiliki jarak antar elektroda sebesar 0.127 mm. Gambar 3.6 (b) menunjukkan perilaku kurva I-V milik sampel B yang cenderung

fluktuasi dengan nilai arus yang naik turun dengan Arus yang mengalir dari 0 sampai 0.33 nA. Gambar 3.6 (e) merupakan citra elektroda dari sampel B (Gambar 3.6 (b)) dengan jarak antar elektroda sebesar 0.193 mm. Gambar 3.6 (c) menunjukkan perilaku kurva I-V dari sampel C yang berperilaku *ohmic* dan cenderung naik. Arus yang mengalir pada sampel C mengalir dari -0.87 sampai 1.24 nA dengan nilai resistansi 3.6842 G Ω berdasarkan hukum ohm. Gambar 3.6 (f) menunjukkan citra elektroda dari sampel C yang memiliki jarak antar elektroda sebesar 0.301 mm. fluktuasi dan histerisis yang terjadi pada sampel A-C (Gambar 3.6 a-c) berdasarkan penelitian sebelumnya diindikasikan terjadi karena gangguan interinsik dan ekstrinsik [16]. Faktor interinsik yang dicurigai sebagai penyebab adalah kekosongan pada WS₂ seperti terlihat pada Gambar 3.6 (d-f) yang dapat menyebabkan histerisis dan fluktuasi [17]. Faktor ekstrinsik dicurigai karena adanya kelembaban udara dan jarak antar elektroda yang masih cukup lebar.



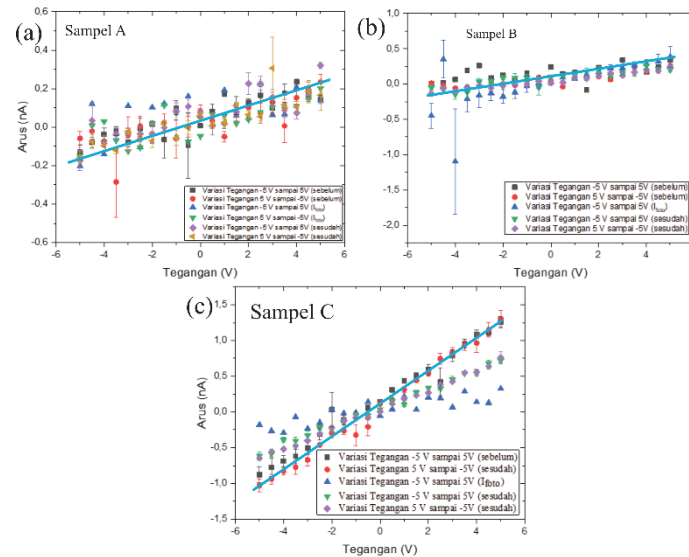
Gambar 3. 4 Kurva karakterisasi I-V (a-c) dari lapisan tunggal WS₂ saat diberi cahaya.

Pada Gambar 4.7 (a-c) menunjukkan perilaku kurva I-V saat disinari oleh laser hijau 532 nm. Pada Gambar 3.7 (a) menunjukkan perilaku kurva I-V sampel A saat disinari laser yang mengalami fluktuasi nilai arus dan cenderung naik. Pada Gambar 3.7 (b) menunjukkan perilaku kurva I-V sampel B saat disinari oleh laser yang mengalami fluktuasi pada data awal dan mulai stabil dan cenderung naik mulai dari -3.5 sampai 5 V. Pada Gambar 3.7 (c) menunjukkan perilaku Kurva I-V sampel C saat disinari laser hijau mengalami fluktuasi yang cukup besar dari awal hingga akhir dan cenderung naik nilai arus fotonya. Fluktuasi pada pengukuran ini diduga karena letak penembakan laser yang tidak tetap karena laser disangah menggunakan tangan sehingga posisi penembakan dapat berubah-ubah. Jika dibandingkan dengan subab 4.5.1 terlihat pada sampel A dan B kurva I-V mengalami perubahan menjadi lebih ohmic saat ditembakkan oleh laser. Namun, pada sampel C nilai arus foto sangat fluktuatif jika dibandingkan dengan sebelum ditembakkan sinar laser.



Gambar 3. 5 Kurva Karakterisasi I-V (a-c) lapisan tunggal WS₂ setelah tidak diberi cahaya laser

Pada Gambar 3.8 (a-c) menampilkan perilaku kurva I-V dari sampel A sampai C setelah tidak ditembakkan laser hijau. Pada Gambar 3.8 (a) menunjukkan perilaku kurva I-V sampel A setelah tidak terkena laser mengalami fluktuasi dan berkecenderungan naik nilai arusnya. Pada Gambar 3.8 (b) menunjukkan perilaku kurva I-V dari sampel B setelah tidak diberi laser menunjukkan fluktuasi cenderung bersifat ohmic seperti resistor. Pada Gambar 3.8 (c) menunjukkan perilaku kurva I-V dari sampel C setelah tidak diberi laser memiliki kecenderungan bersifat ohmic seperti resistor. Jika dibandingkan dengan kurva I-V sebelum pada Gambar 3.6 nilai fluktuasi pada saat sudah tidak disinari laser semakin berkurang dan nilai arus pun menjadi lebih kecil yaitu dari -0.61 sampai 0.717 nA dengan nilai resistansi 6.59 G Ω .



Gambar 3. 6 Kurva Karakterisasi I-V (a-c) lapisan tunggal WS₂ sebelum, saat dan setelah tidak diberi cahaya laser

Pada Gambar 3.9 (a-c) menunjukkan kurva I-V dari sampel WS₂ sebelum, saat dan setelah diberi cahaya berupa laser hijau. Pada Gambar 3.9 (a) merupakan kurva I-V sampel A sebelum dikenakan cahaya (merah dan hitam) arus mengalami fluktuasi yang cukup besar dan pada saat terkena laser (biru dan hijau) nilai fluktuasi mulai berkurang sedangkan setelah tidak terkena laser (kuning dan ungu) nilai fluktuasi makin menurun. Pada Gambar 3.9 (b) terlihat kurva I-V dari sampel B saat sebelum, sedang dan setelah dikenakan laser tidak terlalu merubah kurva I-V. Namun, pada saat terkena cahaya laser terdapat sedikit fluktuasi karena saat pengujian laser dipegang oleh tangan sehingga memungkinkan salah sasaran atau berubah-ubah posisi penembakan sampel. Pada Gambar 3.9 (c) menunjukkan kurva I-V dari sampel C saat sebelum, sedang dan setelah diberi cahaya laser. Sebelum (merah dan hitam) dan sesudah (hijau dan ungu) diberi cahaya nilai arus mengalami perubahan menjadi lebih kecil. Hal tersebut diduga karena intensitas laser sangat besar sehingga merusak sampel.

4. Kesimpulan

Bedasarkan penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini telah dibuat sampel yang ramah lingkungan yang terbuat dari Air dan Ipa. Dengan hasil Uv-Vis yang menjanjikan namun karena keterbatasan waktu maka belum dilakukan karakterisasi lebih lanjut mengenai sifat listrik dan optik. Dengan karakterisasi Uv-vis dari WS₂ yang disonikasi menggunakan sonikator probe selama 2 jam masih mengindikasikan belum terbentuk lapisan tunggal dan masih berbentuk beberapa lapisan. Sebagai perbandingan sifat listrik dan optik telah dilakukan karakterisasi dengan menggunakan sampel yang tersedia di lab.
2. Karakterisasi sifat listrik menunjukkan perilaku yang resistive dengan arus yang besarnya berorde 1 nanoampere. Efek cahaya perlu diteliti lebih lanjut karena ada sampel yang mengindikasikan lebih baik dan ada sampel yang nilai arusnya menurun saat terkena cahaya.

Reference

- [1] Ushma Ahuja, Alpa Dashora b, Harpal Tiwari, Dushyant C. Kothari, K. Venugopalan, "Electronic and Optical Properties of Mos₂-WS₂ Multi-Layers: First Principles Study", 2014
- [2] Honglian Song, Xiaofei Yu, Ming Chen, Mei Qiao, Tiejun Wang, Jing Zhang, Yong Liu, Peng Liu, Xuelin Wang, "Modification of WS₂ Nanosheets With Controllable Layers Via Oxygen Ion Irradiation", 2018

- [3] Jha, R., & Guha, P. K. (2017). An effective liquid-phase exfoliation approach to fabricate tungsten disulfide into ultrathin two-dimensional semiconducting nanosheets. *Springer*, 1-13.
- [4] Wonbong Choi, Nitin Choudhary, Gang Hee Han, Juhong Park, Deji Akinwande and Young Hee Lee, "Recent Development of Two-Dimensional Transition Metal Dichalcogenides And Their Applications", 2017
- [5] Inturu Omkaram, Young Ki Hong and Sunkook Kim, "Transition Metal Dichalcogenide Photodetectors", 2018
- [6] Jonathan N. Coleman, Mustafa Lotya, et al, "Two-Dimensional Nanosheets Produced by Liquid Exfoliation of Layered Materials" 2011
- [7] Ovchinnikov, D., et al. (2014). Electrical Transport Properties of Single-Layer WS₂. *ACS NANO*, 1-8.
- [8] J. Xu, J. Zhang, W. Zhang, and C.-S. Lee, "Interlayer Nanoarchitectonics of Two-Dimensional Transition-Metal Dichalcogenides Nanosheets for Orang Storage and Conversion Applications," *Advanced Orang Materials*, vol. 7, orang. 23, p. 1700571, 2017.
- [9] Sharma, S., Bhagat, S., Singh, J., Ahmad, M., & Sharma, S. (2018). "Temperature dependent photoluminescence from WS₂ nanostructures". *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(23), 20064-20070.
- [10] Mishra, A. K., Lakshmi, K. V., & Huang, L. (2015). "Eco-friendly synthesis of metal dichalcogenides nanosheets and their environmental remediation potential driven by visible light". *Scientific reports*, 5, 15718.
- [11] Adilbekova, B., Lin, Y., Yengel, E., Faber, H., Harrison, G., Firdaus, Y., ... & Anthopoulos, T. D. (2020). "Liquid phase exfoliation of MoS₂ and WS₂ in aqueous ammonia and their application in highly efficient organic solar cells". *Journal of Materials Chemistry C*, 8(15), 5259-5264.
- [12] Choudhary, N., Park, J., Hwang, J. Y., Chung, H. S., Dumas, K. H., Khondaker, S. I., ... & Jung, Y. (2016). "Centimeter scale patterned growth of vertically stacked few layer only 2D MoS₂/WS₂ van der Waals heterostructure". *Scientific reports*, 6, 25456.
- [13] Qiao, S., Yang, H., Bai, Z., Peng, G., & Zhang, X. (2017, September). "Identifying the number of WS₂ layers via Raman and photoluminescence spectrum". In *2017 5th International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering (ICMMCCE 2017)*. Atlantis Press.
- [14] Zhao, W., Ghorannevis, Z., Chu, L., Toh, M., Kloc, C., Tan, P. H., & Eda, G. (2013). "Evolution of electronic structure in atomically thin sheets of WS₂ and WSe₂". *ACS nano*, 7(1), 791-797.
- [15] Rodriguez Gutierrez, H., Perea-López, N., Elías, A., Berkdemir, A., Wang, B., Lv, R., ... & D Layered Materials MURI 24 Collaboration. (2013). "Extraordinary room-temperature photoluminescence in WS₂ monolayers". *APS*, 2013, A5-007.
- [16] Di Bartolomeo, A., Genovese, L., Giubileo, F., Iemmo, L., Luongo, G., Foller, T., & Schleberger, M. (2017). "Hysteresis in the transfer characteristics of MoS₂ transistors". *2D Materials*, 5(1), 015014.
- [17] S.Salehi and A. Saffarzadeh, "Atomic defect state in monolayers of MoS₂ and WS₂", *surface science*, vol. 651. pp. 215-221, 2016.
- [18] Wurdack, M., et al. (2020). "Ultrathin Ga₂O₃ Glass: A Large-Scale Passivation and Protection Material for Monolayer WS₂". *Advanced Materials*, 2005732.