

EFEK VARIASI SUBSTRAT TERHADAP SIFAT LISTRIK TUNGSTEN DISULFIDA
EFFECT OF SUBSTRATE VARIATION ON ELECTRICAL PROPERTIES OF TUNGSTEN DISULFIDE

Athalya Maida Utama¹, Memoria Rosi², I.P. Handayani^{3*}

Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹athalyamaida@student.telkomuniversity.ac.id, ²memoriarosi@telkomuniversity.ac.id,
³iphandayani@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah mengamati sebaran lapisan dan mempelajari sifat listrik dari lapisan Tungsten Disulfida (WS_2) yang dideposisi di atas berbagai substrat. 1 mg/mL WS_2 dimodifikasi dengan 2 mg/mL NaOH dan 10 mL NMP menggunakan metode eksfoliasi fasa cair. Warna dari larutan WS_2 dengan bertambahnya waktu sonikasi. Hal ini mengindikasikan proses eksfoliasi. Dari pengukuran transmisi, WS_2 yang dieksfoliasi mengalami pergeseran dibandingkan dengan non eksfoliasi. WS_2 yang dieksfoliasi menyerap cahaya dengan dengan puncak serapan pada panjang gelombang 528 nm, sedangkan WS_2 non eksfoliasi menyerap cahaya dengan puncak serapan pada panjang gelombang 564 nm. Pergeseran panjang gelombang juga terlihat dari cahaya yang diemisikan. WS_2 yang dieksfoliasi mengemisikan cahaya pada panjang gelombang 741 nm, sedangkan WS_2 non eksfoliasi mengemisikan cahaya pada panjang gelombang 880 nm. Larutan WS_2 yang telah dimodifikasi menyerap cahaya pada panjang gelombang 564 nm. Hasil sebaran lapisan WS_2 di atas substrat PET lebih merata dibandingkan di atas substrat ITO/PET dan SiO_2 . Lapisan yang terbentuk memiliki ketebalan 12 nm di atas substrat PET dan 7 nm di atas substrat ITO/PET. Lapisan WS_2 di atas substrat PET dan ITO/PET menyerap cahaya di sekitar panjang gelombang 600 – 650 nm dengan puncak serapan 600 nm. Karakterisasi sifat listrik dilakukan dengan cara mengamati kurva karakteristik I-V dari lapisan WS_2 di atas substrat PET dan SiO_2 . Nilai arus yang dihasilkan oleh lapisan WS_2 di atas substrat PET berkisar antara – 0,78 nA sampai 1,06 nA saat tegangan divariasi dari -10 V sampai 10 V dengan $V_{th} = 4,037$ V. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa resistivitas WS_2 bernilai 0,105 $G\Omega \cdot \mu m$. Nilai arus yang dihasilkan oleh lapisan WS_2 di atas substrat SiO_2 berkisar antara – 9,105 μA sampai 3,59 μA saat tegangan divariasi dari -5 V sampai 5 V dengan $V_{th} = 3,03$ V. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa resistivitas WS_2 bernilai 0,8 $M\Omega \cdot \mu m$. WS_2 di atas substrat ITO/PET tidak bisa dikarakterisasi sifat listriknya karena konduktivitas ITO/PET terlalu dominan.

Kata Kunci: WS_2 , SiO_2 , PET, ITO/PET, Eksfoliasi, Sifat Listrik

Abstract

The research is aimed to observe the layer distribution and to study the electrical properties of the Tungsten Disulfide (WS_2) deposited on various substrates. 1 mg/mL WS_2 was modified with 2 mg/mL NaOH and 10 mL NMP using liquid phase exfoliation method. The WS_2 liquid colour changes with the increasing time of sonication process. It indicates the exfoliation process. From transmission measurement, it was observed that the exfoliated WS_2 spectra experiences a blue shift compared to the non exfoliation one. Modified WS_2 liquid absorbed light at wavelength of 528 nm while the non exfoliation absorb light at wavelength of 564 nm. A clear emission centered at wavelength of 741 nm was observed for exfoliated sample, whereas it was at wavelength of 880 nm for non exfoliated one. The WS_2 layers on top of PET substrate were distributed more uniform compared to the ones on the ITO/PET and SiO_2 substrates. The formed layers on PET and ITO/PET substrate have average thickness of 12 and 7 nm, respectively. WS_2 layer on PET and ITO/PET substrate absorbed light at wavelength of 600 – 650 nm with absorption peak at wavelength of 600 nm. Characterization of electrical properties was done by observing I-V curve. The current generated by the WS_2 layer on the PET substrate was – 0,78 nA to 1,06 nA when voltage was varied from -10 V to 10 V with $V_{th} = 4,037$ V and the resistivity of 0,105 $G\Omega \cdot \mu m$. The current generated by the WS_2 layer on the SiO_2 substrate was – 9,105 μA to 3,59 μA when voltage was varied from -5 V to 5 V with $V_{th} = 3,03$ V and the resistivity of 0,8 $M\Omega \cdot \mu m$. The WS_2 layers on top of ITO/PET substrate could not be characterized by its electrical properties because ITO/PET conductivity was dominant.

Keywords: WS_2 , SiO_2 , PET, ITO/PET, Exfoliation, Electrical Properties

1. Pendahuluan

Logam transisi dichalcogenida (TMDC) memiliki ikatan yang berbeda dalam lapisannya yaitu, ikatan *van der Waals* antar lapisan yang berbeda pada arah sumbu *c* dan ikatan kovalen dalam satu lapisan yang sama di bidang *a b*, sehingga dapat dieksfoliasi menjadi lapisan tipis [1]. Selain itu, TMDC juga memiliki keterkaitan antara struktur dan sifat listriknya. Sebagai contoh, TMDC golongan VI (Mo dan W) dapat berbentuk dua struktur yaitu, *trigonal prismatic* dan *octahedral*. Dalam struktur *trigonal prismatic*, Mo dan W bersifat insulator dan superkonduktor dibawah suhu 4 K. Pada struktur *octahedral*, Mo dan W dapat bersifat logam dan insulator [2,3]. Material TMDC dapat diaplikasikan pada *spintronics*, *optoelectronics*, penyimpanan energi, dan elektronik fleksibel [2].

Material TMDC WS_2 memiliki *indirect bandgap* sebesar 1,4 eV saat berbentuk *bulk* dan *direct bandgap* sebesar 2,1 eV saat berbentuk lapisan tunggal [4]. Selain itu, material ini memiliki mobilitas pembawa muatan sebesar $140 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ pada suhu rendah dan lebih dari $300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ jika berbentuk dua lapisan sehingga dapat diaplikasikan dalam substrat fleksibel [5]. WS_2 juga memiliki sifat mekanik yang kuat dengan Modulus Elastisitas sebesar 137 GPa dan *tensile strength* sebesar 11 GPa [6].

Terkait dengan sifat listrik, telah dilakukan penelitian transistor dengan bahan WS_2 yang dideposisi pada substrat SiO_2 [5]. Dari penelitian tersebut diperoleh nilai arus *drain* yang mengalir sebesar 0,1 nA saat diberi tegangan *gate* 0 V [5]. Dengan luas $17 \mu\text{m}^2$, panjang 6,8 μm , dan lebar 2,5 μm , diperoleh nilai resistivitas sebesar $17,5 \text{ G}\Omega \cdot \mu\text{m}$. Untuk meningkatkan sifat listrik, dibuat heterostruktur graphene – WS_2 yang dideposisi pada substrat fleksibel PET [7]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa saat diberikan tegangan *gate* sebesar 0 V, nilai resistivitas mencapai $0,002 - 0,004 \text{ G}\Omega \cdot \mu\text{m}$ untuk 4 -5 lapisan WS_2 pada suhu ruangan [7].

Dalam penelitian ini, penulis melakukan pengukuran sifat listrik WS_2 yang dideposisikan di atas substrat SiO_2 , PET dan ITO/PET. Dipilihnya ketiga substrat tersebut adalah karena biasa digunakan dalam piranti elektronik seperti elektronik fleksibel dan elektroda transparan pada sel surya. Proses modifikasi lapisan WS_2 dilakukan dengan metode eksfoliasi fasa cair. Dipilihnya metode ini adalah karena dapat menghasilkan lapisan tunggal dalam jumlah yang besar atau lebar [4]. Selanjutnya, hasil eksfoliasi akan dideposisi dengan cara ditetaskan secara langsung (*drop casting*) di atas ketiga substrat dan diamati sifat listriknya. Diharapkan dengan dilakukannya penelitian ini, dapat memberikan informasi untuk mendapatkan nilai konduktivitas listrik lapisan WS_2 dan peluang aplikasi yang lebih luas lagi.

2. Tahap – Tahap Penelitian

2.1. Proses Modifikasi Serbuk WS_2

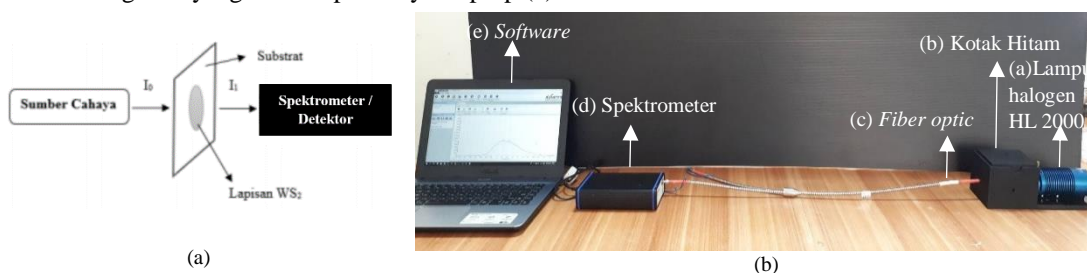
Serbuk WS_2 dimodifikasi menggunakan metode eksfoliasi fasa cair. Serbuk WS_2 dengan konsentrasi 1 mg/mL dilarutkan dalam NMP dan ditambahkan NaOH sebagai interkalator. Larutan ini akan disonikasi selama 60 jam dan disentrifugasi dengan kecepatan 2500 rpm selama 30 menit. Sentrifugasi bertujuan untuk memisahkan endapan WS_2 yang berat dengan endapan yang lebih ringan (*supernatant*). Selanjutnya, endapan yang lebih ringan (*supernatant*) akan dipisahkan ke wadah lain dan disonikasi kembali.

2.2. Deposisi

Untuk deposisi larutan WS_2 di atas substrat PET, ITO/PET, dan SiO_2 dilakukan dengan cara ditetaskan secara langsung (*drop casting*) menggunakan *micropipette* dengan volume larutan yang ditetaskan lebih kecil dari $5 \mu\text{L}$.

2.3. Pengukuran Transmisi Cahaya yang Melewati Lapisan WS_2 di atas Substrat

Gambar 2.1 merupakan skema dan realisasi pengukuran transmisi cahaya yang melewati lapisan WS_2 di atas substrat. Sumber cahaya yang merupakan lampu halogen HL 2000 (a) dihubungkan ke dalam kotak hitam (b) agar tidak terganggu cahaya luar yang kemudian dihubungkan ke spektrometer Avantes (d) menggunakan *fiber optic* (c). Spektrometer ini dilengkapi dengan *software Avantes* sehingga hasil transmisi akan muncul dalam bentuk grafik yang terbaca pada layar laptop (e).

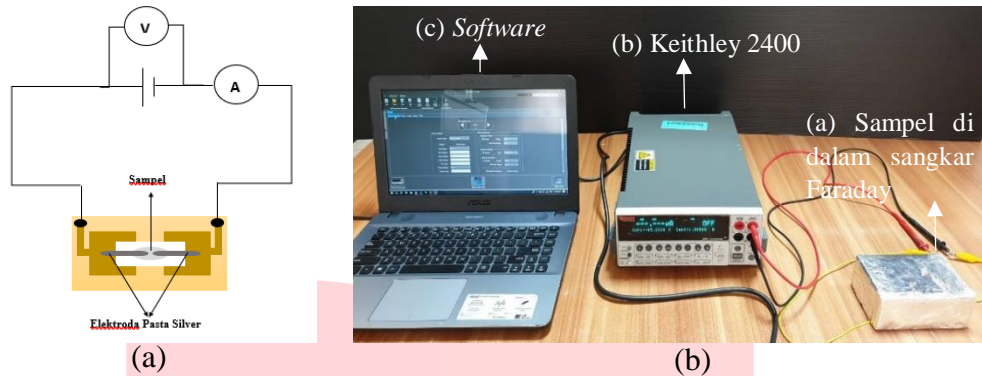


Gambar 2.1. (a) Skema dan (b) Realisasi pengukuran transmisi cahaya yang melewati lapisan WS_2 di atas substrat

Setelah diperoleh hasil transmisi cahaya, dilakukan perhitungan ketebalan lapisan WS_2 . Ketebalan lapisan WS_2 di atas substrat dihitung dengan menggunakan hukum Lambert-Beer. Intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh sumber cahaya sebagai I_0 dan intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh lapisan WS_2 di atas substrat sebagai I_1 .

2.4. Pengukuran Sifat Listrik

Untuk mengetahui sifat listrik dari sampel, maka dilakukan pengamatan kurva karakteristik I-V.

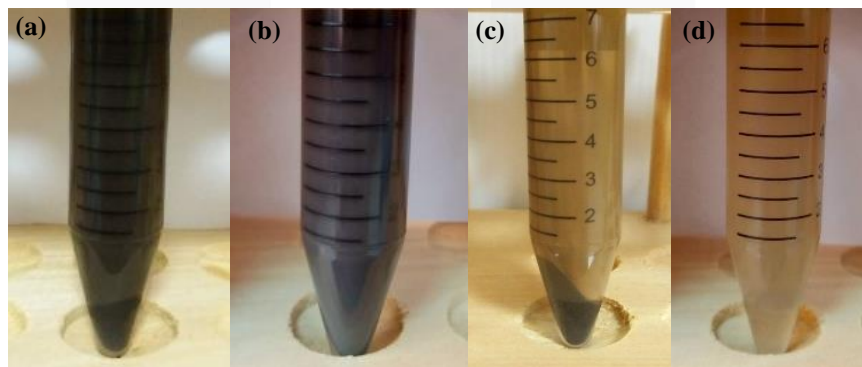


Gambar 2.2. (a) Skema dan (b) Realisasi pengukuran sifat listrik lapisan WS_2 di atas substrat

Gambar 2.2 merupakan skema pengukuran sifat listrik lapisan WS_2 di atas substrat. Sampel yang berada di dalam sangkar Faraday (a) dihubungkan ke *Sourcemeeter* Keithley 2400 (b) menggunakan capit buaya. *Sourcemeeter* ini dilengkapi dengan software *KickStart* sehingga kurva karakteristik I-V akan muncul pada layar laptop (c). Dari kurva karakteristik I-V tersebut, dapat diperoleh nilai resistivitas lapisan WS_2 di atas substrat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Modifikasi WS_2 dengan Metode Eksfoliasi



Gambar 3.1. Campuran 1 mg/mL WS_2 dengan 2 mg/mL NaOH di dalam NMP (a) sebelum dimodifikasi, (b) setelah disonikasi, (c) setelah disentrifugasi, dan (d) terdiri atas *supernatant* & endapan *supernatant* yang sudah dipisahkan

Gambar 3.1 menunjukkan campuran 1 mg/mL WS_2 dengan 2 mg/mL NaOH di dalam NMP sebelum dan setelah disonikasi. Gambar 3.1.(a) menunjukkan larutan WS_2 sebelum dimodifikasi dan berwarna hitam pekat. Sedangkan larutan WS_2 yang telah disonikasi selama 60 jam berwarna hitam kecoklatan, lebih terang dibandingkan dengan larutan WS_2 sebelum disonikasi seperti yang ditunjukkan gambar 3.1.(b). Gambar 3.1.(c) menunjukkan larutan WS_2 yang telah disentrifugasi. Dapat dilihat endapan yang lebih berat dan yang ringan (*supernatant*) akan terpisah. *Supernatant* akan dipisahkan ke tabung yang lain seperti pada Gambar 3.1.(d). Setelah itu, *supernatant* akan disonikasi kembali agar lapisan-lapisan tipis tidak menyatu dan mengendap. Selanjutnya *supernatant* dideposisi di atas substrat untuk dikarakterisasi.

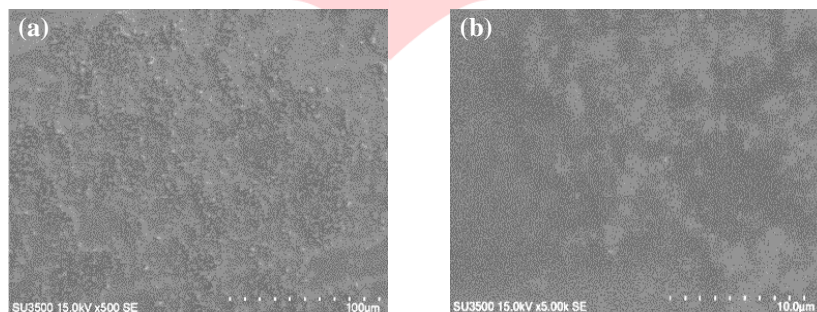
3.2. Hasil Deposisi WS₂ di atas Substrat

Gambar 3.2 menampilkan citra mikroskop lapisan WS₂ yang dideposisi dengan cara *drop casting*.



Gambar 3.2. Citra mikroskop lapisan WS₂ dengan 10 kali perbesaran di atas substrat (a) PET, (b) ITO/PET, dan (c) SiO₂

Berdasarkan gambar tersebut, didapatkan lebar sampel rata-rata sebesar 85±67 μm dan lebar celah rata-rata 10±3 μm pada substrat PET, 60±30 μm dan 10±4 μm pada substrat ITO/PET, dan 40±30 μm dan 10±3 μm pada substrat SiO₂. Untuk menganalisa morfologi lapisan WS₂ yang dibuat, dilakukan uji SEM-EDS pada lapisan WS₂ yang dideposisi di atas substrat ITO/PET.



Gambar 3.3. Morfologi lapisan WS₂ di atas substrat ITO/PET (a) 500 kali perbesaran dan (b) 5000 kali perbesaran

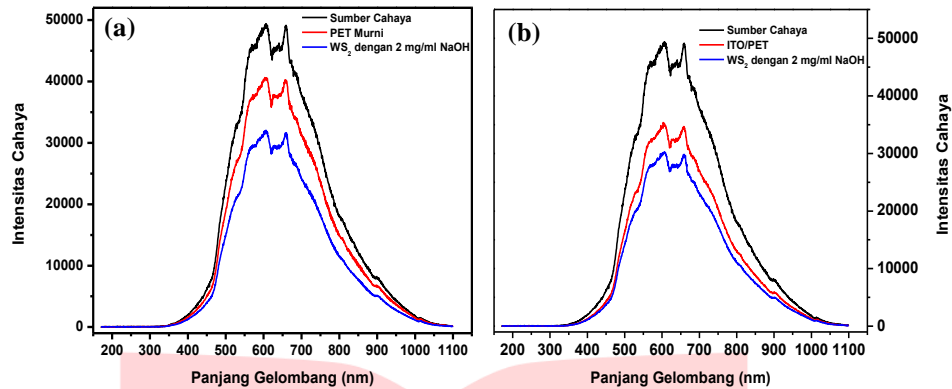
Pada Gambar 3.3, dapat dilihat sampel memiliki dua jenis permukaan dengan ketebalan dan morfologi yang berbeda. Untuk persentase unsur yang terdapat pada sampel, dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Persentase unsur yang terdapat pada sampel

500 Kali Perbesaran		5000 Kali Perbesaran	
Unsur	%	Unsur	%
C	33.37	C	49.87
O	39.98	O	36.49
Na	18.07	Na	6.26
W	1.45	W	1.15
S	2.34	S	0.3
In	4.8	In	5.94

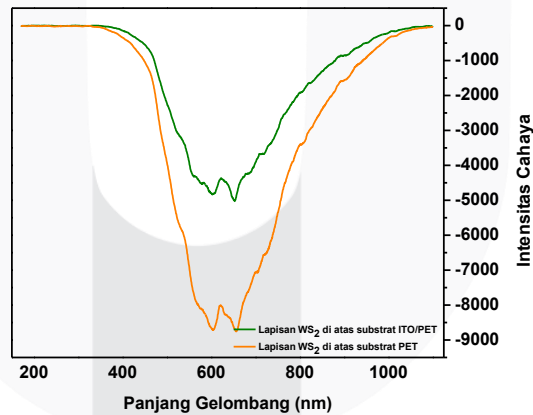
Dari tabel 3.1 dapat dilihat bahwa unsur yang dominan adalah C dan O. Kedua unsur tersebut diperoleh dari pelarut NMP dan serbuk NaOH yang jumlah keduanya lebih banyak dibandingkan lapisan WS₂.

3.3. Hasil Pengukuran Transmisi Cahaya yang Melewati Lapisan WS₂ di atas Substrat



Gambar 3.4. (a) Grafik intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh sumber cahaya, PET, dan lapisan WS₂ dan (b) Grafik intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh sumber cahaya, ITO/PET, dan lapisan WS₂

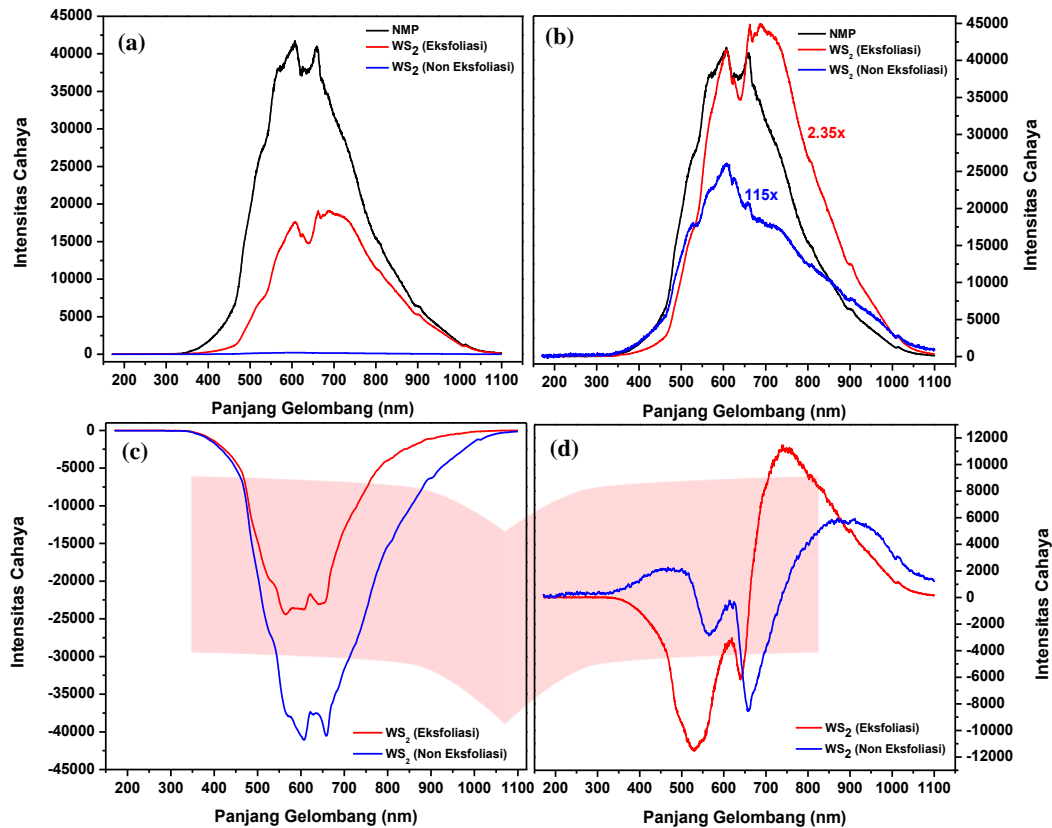
Gambar 3.4 menunjukkan grafik perbandingan intensitas cahaya yang ditransmisikan langsung oleh sumber cahaya, substrat murni, dan substrat/WS₂. Berdasarkan grafik tersebut, intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh substrat murni (I_0) lebih tinggi dibandingkan dengan substrat/WS₂ (I_1). Lapisan WS₂ pada substrat mengakibatkan turunnya intensitas cahaya yang ditransmisikan. Dengan pengolahan data pada Gambar 3.4 dan menggunakan hukum Lambert-Beer, didapatkan ketebalan rata-rata dari lapisan WS₂ yang terbentuk adalah 12 nm pada substrat PET dan 7 nm pada substrat ITO/PET. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai serapan pada sampel, dilakukan pengolahan data berdasarkan Gambar 3.4 yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Grafik absorpsi lapisan WS₂ di atas substrat PET dan ITO/PET

Gambar 3.5 menunjukkan grafik absorpsi dari lapisan WS₂ di atas substrat. Grafik tersebut diperoleh dengan cara mengurangi grafik intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh substrat/WS₂ dengan substrat murni (sesuai dengan Gambar 3.4). Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilihat serapan terjadi pada panjang gelombang 347 – 1100 nm, dengan puncak serapan pada panjang gelombang 600 nm untuk lapisan WS₂ di atas substrat PET. Sedangkan untuk lapisan WS₂ di atas substrat ITO/PET, serapan terjadi pada panjang gelombang 346 – 1100 nm, dengan puncak serapan pada panjang gelombang 602 nm.

Untuk melihat pengaruh dari proses modifikasi, dilakukan pengujian sifat optik pada larutan WS₂ non eksfoliasi dan larutan WS₂ eksfoliasi yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.6.

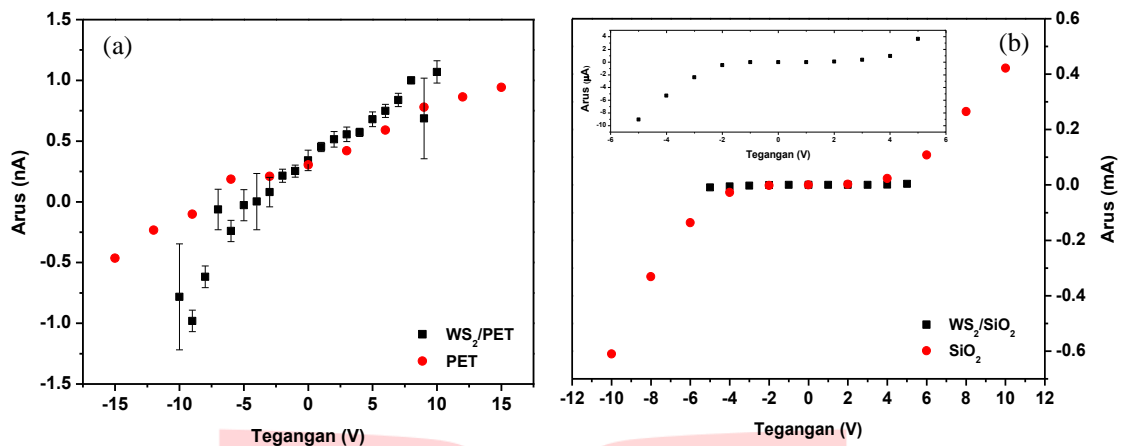


Gambar 3.6. (a) Grafik Intensitas Cahaya yang ditransmisikan oleh NMP, Larutan WS₂ eksfoliasi dan larutan WS₂ non eksfoliasi, (b) Grafik Intensitas Cahaya yang ditransmisikan oleh NMP, Larutan WS₂ yang dieksfoliasi, dan Larutan WS₂ non eksfoliasi setelah dikalikan dengan nilai tertentu agar dapat dibandingkan, (c) Hasil pengurangan transmisi oleh larutan WS₂ pada grafik (a), dan (d) Hasil pengurangan transmisi oleh larutan WS₂ pada grafik (b)

Larutan WS₂ eksfoliasi merupakan campuran dari serbuk WS₂, serbuk NaOH, dan NMP. Sedangkan larutan WS₂ non eksfoliasi merupakan campuran dari serbuk WS₂ dan NMP. Gambar 3.6. (a) menunjukkan grafik perbandingan intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh NMP, larutan WS₂ eksfoliasi, dan non eksfoliasi. Pada grafik tersebut, grafik larutan WS₂ eksfoliasi dan larutan WS₂ non eksfoliasi tidak dapat dibandingkan bentuknya dengan grafik NMP karena terlalu rendah. Oleh sebab itu, grafik larutan WS₂ eksfoliasi dikalikan dengan 2,35 dan grafik larutan WS₂ non eksfoliasi dikalikan dengan 115 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. (b). Pada gambar tersebut, dapat dilihat perbedaan bentuk puncak pada ketiga grafik. Dapat dilihat pada grafik larutan WS₂ eksfoliasi (merah), terjadi serapan pada panjang gelombang 363 – 606 nm, dan pada panjang gelombang 662 – 1100 nm terdapat puncak baru yang menandakan adanya emisi cahaya. Pada grafik larutan WS₂ non eksfoliasi (biru), terjadi serapan pada panjang gelombang 452 – 608 nm, dan terdapat emisi cahaya pada panjang gelombang 867 – 1100 nm.

Gambar 3.6. (c) menunjukkan grafik perbandingan intensitas cahaya yang diserap oleh larutan WS₂ eksfoliasi dan larutan WS₂ non eksfoliasi sebelum dikalikan. Grafik tersebut diperoleh dengan cara mengurangi grafik intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh larutan WS₂ dengan NMP (sesuai pada Gambar 3.6. (a)). Serapan terjadi pada panjang gelombang 350 – 1100 nm dengan puncak serapan pada panjang gelombang 564 untuk larutan WS₂ eksfoliasi dan 607 nm untuk larutan WS₂ non eksfoliasi. Gambar 3.6. (d) menunjukkan grafik perbandingan intensitas cahaya yang diserap oleh larutan WS₂ eksfoliasi dan larutan WS₂ non eksfoliasi setelah dikalikan dengan nilai tertentu agar dapat dibandingkan. Grafik tersebut diperoleh dengan cara mengurangi grafik intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh larutan WS₂ dengan NMP (sesuai pada Gambar 3.6. (b)). Pada grafik tersebut, dapat dilihat lebih jelas perbedaan puncak serapan dari kedua larutan. Untuk larutan WS₂ eksfoliasi (merah), puncak serapan berada pada panjang gelombang 528 nm, sedangkan untuk larutan WS₂ non eksfoliasi pada panjang gelombang 658 nm.

3.4. Hasil Pengukuran Sifat Listrik Lapisan WS₂ pada Substrat



Gambar 3.7. Kurva karakteristik I-V lapisan WS₂ pada substrat (a) PET dan (b) SiO₂. Inset pada gambar (b) merupakan kurva I-V WS₂/SiO₂

Gambar 3.7.(a) menunjukkan kurva karakteristik I-V dari lapisan WS₂ di atas substrat PET. Kurva berwarna hitam merupakan kurva I-V dari lapisan WS₂ di atas substrat PET dan kurva berwarna merah merupakan kurva I-V dari substrat PET murni. Arus mengalir dari nilai -0,78 nA dan terlihat konstan sampai nilai 1,06 nA, sehingga tegangan threshold diperkirakan sekitar 4,037 V. Dengan menggunakan hukum Ohm, didapatkan nilai resistansi sebesar 6,67 GΩ. Selanjutnya didapatkan nilai resistivitas sebesar 0,105 GΩ.μm. Gambar 3.7.(b) menunjukkan kurva karakteristik I-V dari lapisan WS₂ di atas substrat SiO₂. Kurva berwarna hitam merupakan kurva I-V dari lapisan WS₂ di atas substrat SiO₂ dan kurva berwarna merah merupakan kurva I-V dari substrat SiO₂ murni. Jika dilakukan perbesaran pada kurva berwarna hitam, dapat dilihat bahwa sifat listrik dari lapisan WS₂ menyerupai bahan semikonduktor. Arus mengalir dari nilai 9,105 μA sampai 3,59 μA dan tegangan threshold diperkirakan berada pada nilai 3,03 V. Dengan menggunakan hukum Ohm, didapatkan nilai resistansi sebesar 20 MΩ. Selanjutnya didapatkan nilai resistivitas sebesar 0,8 MΩ.μm. Untuk lapisan WS₂ di atas substrat ITO/PET tidak dapat dilakukan pengukuran karena hambatan substrat masih dominan.

3.5 Pembahasan

Dari hasil penelitian ini, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil sonikasi yaitu, waktu dan kualitas pelarut. Semakin lama waktu sonikasi, semakin banyak WS₂ yang terpecah dan semakin tipis. Hal ini ditandai dengan perubahan warna pada larutan. Namun, ada indikasi perubahan kondisi larutan saat disonikasi lebih dari 200 jam yang terlihat dari hasil deposisi.

Pada saat deposisi sampel, waktu dan suhu saat pengeringan harus diperhatikan. Karena jika pengeringan dilakukan lebih dari 3 jam, substrat akan melengkung. Lapisan WS₂ pada substrat PET lebih merata dibandingkan dengan substrat ITO/PET dan SiO₂. WS₂ dan substrat PET memiliki panjang kisi yang tidak jauh berbeda (panjang kisi WS₂ sebesar 0,3154 nm dan substrat PET sebesar 0,456 nm). Jika dilihat menggunakan mikroskop dengan 10 kali perbesaran, didapatkan lebar lapisan WS₂ dan celah rata-rata sebesar 68 μm dan 9 μm pada substrat PET, 70 μm dan 9 μm pada substrat ITO, dan 38 μm dan 11 μm pada substrat SiO₂.

Setelah pendeposisian, dilakukan uji sifat optik dari lapisan WS₂ di atas substrat PET dan ITO/PET. Serapan terjadi di sekitar panjang gelombang 600 – 650 nm dengan puncak serapan pada panjang gelombang 600 nm pada substrat PET dan 602 nm pada substrat ITO/PET. Pada penelitian sebelumnya, serapan lapisan WS₂ terjadi di sekitar panjang gelombang 530 dan 639 nm [8]. Selanjutnya didapatkan ketebalan lapisan WS₂ sebesar 12,3 nm pada substrat PET dan 7,33 nm pada substrat ITO/PET. Untuk lapisan WS₂ pada substrat SiO₂ tidak dapat dilakukan pengukuran karena substrat bukan merupakan substrat yang transparan. Oleh sebab itu, untuk nilai ketebalan diambil nilai tengah dan diperkirakan sebesar 10 nm.

Untuk menganalisa morfologi, dilakukan uji SEM dan EDX pada lapisan WS₂ yang dideposisi pada substrat ITO/PET. Uji SEM dilakukan dengan perbesaran 500 dan 5000 kali. Dari hasil SEM tersebut, terdapat dua jenis permukaan dengan ketebalan dan morfologi yang berbeda. Sedangkan dari hasil uji EDX, persentase unsur W dan S masih sangat kecil dibandingkan unsur lain, karena konsentrasinya lebih kecil

dibandingkan yang lain. Unsur yang masih dominan pada sampel adalah C dan O. Kedua unsur tersebut diperoleh dari pelarut NMP, NaOH, dan substrat ITO/PET.

Untuk mengetahui karakteristik dari lapisan WS₂ yang dibuat, telah dilakukan pengujian sifat listrik. Kurva karakteristik I-V yang ditampilkan adalah kurva hasil rata-rata. Lapisan WS₂ pada substrat PET memiliki kurva karakteristik I-V seperti resistor dan cenderung semikonduktor. Terdapat perbedaan nilai arus saat tegangan divariasi dari -10 sampai 10 V. Sampel memiliki nilai resistivitas sebesar 0,105 GΩ.µm. Nilai resistivitas tersebut tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang mendapatkan nilai resistivitas sebesar 0,002 – 0,004 GΩ.µm [7]. Lapisan WS₂ pada substrat SiO₂ memiliki kurva karakteristik I-V seperti semikonduktor. Kemudian didapatkan nilai resistivitas sebesar 0,8 MΩ.µm.

4. Simpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa simpulan yaitu:

1. Hasil deposisi lapisan WS₂ pada substrat PET lebih merata dibandingkan pada substrat ITO/PET dan SiO₂. Lapisan WS₂ yang terbentuk pada substrat PET memiliki ketebalan 12 nm dan pada substrat ITO/PET memiliki ketebalan 7 nm.
2. Sifat listrik lapisan WS₂ di atas substrat PET berada di antara resistor dan semikonduktor. Arus mengalir dari nilai -0,78 nA sampai 1,06 nA dengan tegangan *threshold* diperkirakan 4,037 V dan nilai resistivitas sebesar 0,105 GΩ.µm. Sifat listrik lapisan WS₂ di atas substrat SiO₂ menyerupai bahan semikonduktor. Arus mengalir dari nilai -9,105 µA sampai 3,59 µA dengan tegangan *threshold* diperkirakan bernilai 3,03 V dan nilai resistivitas sebesar 0,8 MΩ.µm. Lapisan WS₂ pada substrat ITO/PET tidak dapat dilakukan pengukuran sifat listrik karena hambatan substrat masih dominan.

5. Saran

Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut dan pengembangan lebih lanjut untuk memperbaiki kekurangan Tugas Akhir ini. Adapun saran yang dianjurkan adalah sebagai berikut:

1. Dalam memodifikasi WS₂, kualitas pelarut yang digunakan lebih diperhatikan agar WS₂ dapat tereksfoliasi dengan baik.
2. Konfigurasi WS₂ di atas substrat ITO/PET diatur vertikal agar hambatan WS₂ dapat terukur.
3. Perlu memperhatikan metode pembuatan elektroda.

Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] Manzeli, S., et al. (2017). 2D transition metal dichalcogenides. *Nature Reviews*, 1-15.
- [3] Jo, S., et al. (2015). Electrostatically Induced Superconductivity at the Surface of WS₂. *Nano Letters*, 1-6.
- [4] Wang, Q. H., et al. (2012). Electronics and Optoelectronics of two-dimensional Transition Metal Dichalcogenides. *Nature Nanotechnology*, 699-712.
- [5] Ovchinnikov, D., et al. (2014). Electrical Transport Properties of Single-Layer WS₂. *ACS NANO*, 1-8.
- [6] I. Kaplan-Ashiri, et al. (2004). Mechanical Behavior of Individual WS₂Nanotubes. *J.Mater.Res.*, 454-459.
- [7] Thanasis Georgiou, et al. (2012). Vertical Field Effect Transistor based on Graphene-WS₂ Heterostructure for flexible and transparent electronics, 1-13.
- [8] Mishra, A. K. et al. (2015). Eco-friendly synthesis of metal dichalcogenides nanosheets and their environmental remediation potential driven by visible light. *Scientific Reports*, 1-8.

