

KARAKTERISASI SIFAT OPTIK DAN OPTOELEKTRONIK PADA *MULTILAYER* MOLIBDENUM DISULFIDA (MoS_2)

OPTICAL AND OPTOELECTRONIC CHARACTERIZATION OF *MULTILAYER* MOLIBDENUM DISULFIDE (MoS_2)

Fitri Atikah¹, I. P. Handayani^{2*}, Memoria Rosi³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

fitriatikahsyukri@telkomuniversity.ac.id¹, iphandayani@telkomuniversity.ac.id²,
memoriarosi@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Molibdenum disulfida (MoS_2) menarik perhatian karena sifat *photoluminescence* dan *optoelectronics* yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan perangkat *photodetector*, *phototransistor*, dan LED. Pada tugas akhir ini, penulis melakukan penelitian dengan tujuan mengamati sifat optik pada larutan MoS_2 , sifat listrik MoS_2 , pengaruh intensitas cahaya pada sifat listrik *multilayer* MoS_2 , dan pengaruh gangguan mekanik terhadap sifat listrik. Pengujian sifat listrik dilakukan dengan cara mendeposisikan MoS_2 di atas substrat PET menggunakan metode *drop casting*, membuat elektroda pasta perak, dan mengukur kurva I-V menggunakan *Keithley 2400*. Pada saat tegangan divariasi dari -5V sampai 5V, arus mengalir sebesar -9,49 nA sampai 11,25 nA dengan resistansi 5,109 GΩ. Hasil sifat listrik saat diberikan cahaya dengan daya 2,56 mW arus mengalami peningkatan dari 10,96 nA menjadi 12,91 nA. Nilai arus yang semakin turun pada saat sampel diberikan tarikan mekanik dengan strain 4,67 %. Karakteristik UV-Vis menghasilkan puncak eksiton A dan B pada 540,5 nm dan 445 nm, menunjukkan MoS_2 masih tersusun *multilayer*. Spektra *photoluminescence* (PL) yang dihasilkan bergantung pada panjang gelombang eksitasi laser. Laser 402 nm menghasilkan puncak eksiton pada panjang gelombang 495,5 nm, 461,1 nm, dan 473,36 nm, laser 420 nm pada panjang gelombang 524 nm, dan laser 532 nm pada panjang gelombang 612,4 nm dan 524 nm.

Kata Kunci: *drop casting*, MoS_2 , *Optoelectronics*, *Photoluminescence*, SEM/EDS, sifat listrik, sifat optik

Abstract

Molybdenum disulfide (MoS_2) thin films have attracted attention because of their *photoluminescence* and *optoelectronics* properties that can be utilized for the development of *photodetectors*, *phototransistors*, and LEDs. This final project the optical, *optoelectronic*, and mechanical properties of MoS_2 thin film are studied. Electrical properties were tested by depositing MoS_2 on a PET substrate using the *drop casting* method and silver paste electrodes. The I-V curves were observed using *Keithley 2400*. The I-V curve characteristics show that in general, the MoS_2 is an insulator and the currents fluctuate in some samples. The currents vary from -9,49 nA to 11,25 nA with resistance was 5,109 GΩ. The current is increased from 10,96 nA to 12,91 nA when the sample is illuminated by 2,56 mW light. The current decreased when sample was given a mechanical pull with a strain of 4,67 %. In addition, the UV-Vis characterization shows exciton peaks at A and B at 540,5 nm and 445 nm, respectively, indicating that MoS_2 is still composed of *multilayers*. Spectra *photoluminescence* (PL) is dependent on the laser excitation wavelength. The 402 nm laser produced exciton peaks at the wavelengths of 495,5 nm, 461,1 nm, and 473,36 nm, the 420 nm laser at the wavelength of 524 nm, and the 532 nm laser at the wavelengths of 612,4 nm and 524 nm.

Keywords: *electrical*, *drop casting*, MoS_2 , *Optoelectronics*, *optical*, *Photoluminescence*, SEM/EDS

1. Pendahuluan

Molibdenum disulfida (MoS_2) adalah material semikonduktor jenis Metal Transisi Dikalkogenida yang menarik banyak perhatian karena sifat listrik, sifat optik, dan menghasilkan *photoluminescence* (PL). Celah energi pada lapisan MoS_2 dapat dimodifikasi dengan cara memodifikasi jumlah lapisan. Pada saat berbentuk *bulk* MoS_2 memiliki *indirect band gap* 1,29 eV dan *direct band gap* 1,8 eV ketika berbentuk lapisan tunggal [1,2]. Lapisan tipis (*single layer*) MoS_2 dapat menghasilkan penyerapan yang kuat dan PL pada panjang gelombang 680 nm. Selain itu, lapisan tipis MoS_2 menghasilkan mobilitas pembawa muatan sebesar 500 $\text{cm}^2/\text{V.s}$, dan rasio arus *on-off* hingga 10^9 [1]. Hal ini menjadikan MoS_2 bahan yang sangat baik untuk perangkat *optoelectronics* seperti *photodetector* dengan responsivitas tinggi, transistor [3], perangkat

elektroluminesen, dan LED [1,3]. MoS_2 menghasilkan emisi cahaya yang kuat pada saat berbentuk *monolayer* sehingga memungkinkan dibuatnya LED pada spektrum cahaya tampak. Setelah penemuan *graphene* yang cenderung bersifat metalik, MoS_2 termasuk material semikonduktor awal yang dapat dengan mudah dikelupas menjadi lapisan *single layer* dan cukup stabil terhadap efek oksidasi. Pada perkembangan material-material semikonduktor lain seperti GaAs dan GaSe juga berhasil dibuat menjadi *nanosheet* namun sering kali mengalami proses oksidasi. Untuk mengatasi kelemahan material tersebut, lapisan tipis MoS_2 dapat dikombinasikan dengan material semikonduktor lainnya membentuk heterostruktur atau *hybrid* sehingga meningkatkan sifat listrik maupun *elektroluminescence* pada perangkat elektronik [4]. Keunggulan lain dari MoS_2 adalah sifat mekaniknya yang kuat sehingga berpotensi untuk diaplikasikan pada bidang elektronik fleksibel.

Keberhasilan sintesis pada penelitian sebelumnya dengan substrat PET, lapisan tunggal dari MoS_2 telah memungkinkan pengamatan PL kuat yang dapat dikaitkan dengan struktur elektronik *direct band gap* dari lapisan tunggal MoS_2 [5,6]. Pengukuran PL dilakukan pada lapisan tipis MoS_2 dengan rentang panjang gelombang 550 – 700 nm, didapatkan puncak tertinggi pada panjang gelombang sekitar 660 nm [2,5]. Spektrum PL dapat dilihat pada ketebalan rata-rata berkisar antara 1,3 hingga 7,6 nm [5]. Proses karakterisasi sifat optoelektronik perlu dilakukan untuk mengetahui potensi aplikasi dari material MoS_2 . Pada penelitian *photodetector* dengan bahan MoS_2 , menghasilkan *photoresponsivities* 100 mA/W [7]. Ketika lapisan tunggal MoS_2 diberikan daya optik yang meningkat dari 10-80 μW , dengan tegangan yang juga meningkat sampai 1 V didapatkan *photocurrent* yang meningkat perlahan dari 0-4 nA. Namun dalam keadaan gelap MoS_2 dapat menghasilkan arus sekitar 0,3 nA dengan tegangan 1 V [8]. Pada penelitian lainnya, karakterisasi *optoelectronic* menggunakan parameter *Agilent B1500* dengan hasil *photocurrent* 50 μA pada tegangan sekitar 4 V dan daya 10^{-4} W. Namun pada keadaan tanpa cahaya menghasilkan *photocurrent* 0 V dengan tegangan dan daya yang sama ketika diberi cahaya [9]. Dapat diketahui alat yang digunakan sangat mahal, oleh karena itu dibutuhkan *set-up* alat sederhana yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis melakukan karakterisasi *multilayer* MoS_2 dengan melihat sifat optik, sifat listrik, dan pengaruh intensitas cahaya pada sifat listrik. Sample lapisan tipis MoS_2 difabrikasi dengan cara *drop casting* (ditetaskan secara langsung) larutan *pristine* MoS_2 yang diperoleh dari *Graphane Supermarket* dan yang dibuat di Laboratorium Material. Sifat PL dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer dengan ditembakkan cahaya pada lapisan MoS_2 diatas substrat PET. Pengukuran sifat *optoelectronic* MoS_2 dilakukan dengan mendeposisikan diatas substrat PET, akan diamati kurva arus terhadap tegangan (I-V) ketika diberikan cahaya. Selain itu, penulis melakukan karakteristik lapisan menggunakan UV-Vis, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy-dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS). Penulis juga melakukan pengujian sifat listrik ketika diberi gangguan mekanik. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari kemungkinan dibuatnya alat uji sifat *optoelectronic* secara bertahap di Laboratorium Material dan Modeling Teknik Fisika. Dengan adanya penelitian karakterisasi sifat optik dan membangun *set-up* sederhana pengujian sifat *optoelectronic* diharapkan memberikan informasi yang bermanfaat bagi teknologi dimasa depan.

2. Perancangan Penelitian

2.1 Deposisi

Proses deposisi dilakukan dengan cara ditetaskan secara langsung (*drop casting*) pada substrat yang digunakan. Sampel ditetaskan menggunakan *micropipette* ke atas substrat. Jumlah larutan yang ditetaskan kurang dari 5 μL . Sampel dilanjutkan dengan proses pengeringan dengan menggunakan oven selama 1-3 jam atau *hotplate*. Suhu yang digunakan tidak lebih dari 70°C. Pengeringan sampel bertujuan untuk menghilangkan pelarut yang ada.

2.2 Karakterisasi UV-Vis

Karakteristik spektrum serapan melakukan pengujian UV-Vis dilakukan di Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi ITB dengan menggunakan UV-Vis *Spectrophotometer Thermo Scientific Evolution 220*.

2.3 Karakterisasi *Photoluminescence* (PL)

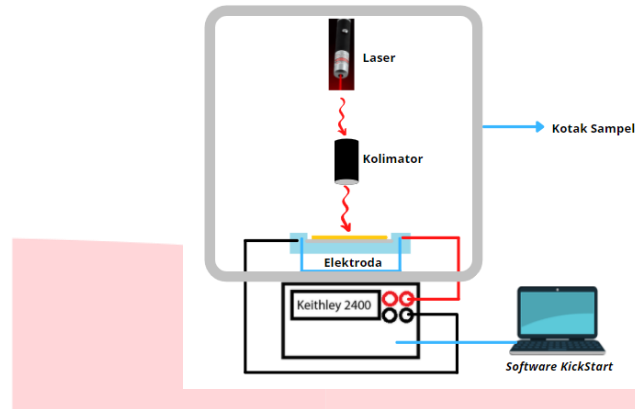
Karakterisasi PL dilakukan untuk mengamati emisi pada sampel. Pengujian dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Fisika (LIPI) bertempat di Serpong. Alat yang digunakan adalah *Picosecond Laser TC SPC*.

2.4 Pengukuran Sifat Optoelektronik

Pengukuran sifat optoelektronik MoS_2 dilakukan dengan menggunakan *Keithley 2400* untuk mendapatkan karakterisasi kurva I-V. Sebelum melakukan pengukuran, terlebih dahulu dibuat elektroda dengan menggunakan pasta perak pada substrat. Elektroda akan disambungkan dengan sampel MoS_2 kemudian sampel disinari oleh sumber cahaya laser dioda dengan panjang gelombang 633 nm. Pada penelitian

ini menggunakan laser diode karena cahaya yang dihasilkan laser memiliki panjang gelombang yang spesifik sesuai level eksiton pada material, serta cahaya bersifat koheren tidak menyebar sehingga intensitasnya lebih kuat dibandingkan cahaya yang tidak koheren seperti senter maupun LED.

Skema pengujian ditampilkan pada Gambar 2.1 Pengujian dilakukan dengan cara meneruskan cahaya laser diode menuju kolimator menuju sampel MoS_2 yang berada dibawah. Sampel MoS_2 telah disambungkan ke elektroda. Elektroda dihubungkan dengan *Keithley 2400* dan *software KickStart* pada komputer. Karakterisasi kurva I-V saat diberi cahaya dapat dilihat melalui *software KickStart* pada komputer, kurva I-V yang dihasilkan dapat dianalisis pengaruh intensitas cahaya terhadap sifat *optoelectronic*.



Gambar 2. 1 Skema pengukuran optoelektronik

2.5 Pengukuran Sifat Listrik Dengan Gangguan Mekanik

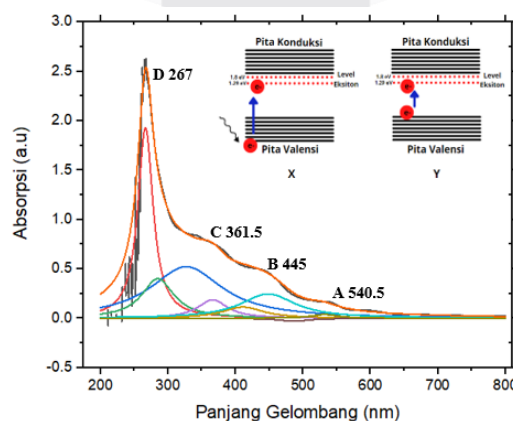


Gambar 2. 2 Skema pengukuran sifat listrik dengan gangguan mekanik

Gambar 2.2 merupakan skema pengukuran sifat listrik dengan diberikan gangguan mekanik berupa tarikan dan tekanan. Sampel akan ditempelkan pada elektroda pcb yang telah di bagi dua. Kemudian elektroda pcb tersebut ditempelkan pada plak kayu yang terdapat pada alat uji tarik. Pengujian I-V dan pengukuran jarak antar elektroda dilakukan saat sampel sebelum ditarik, setelah ditarik, dan setelah ditekan. Sampel akan ditarik dan ditekan dengan kecepatan serta jarak yang sama.

3. Hasil dan Pembahasan

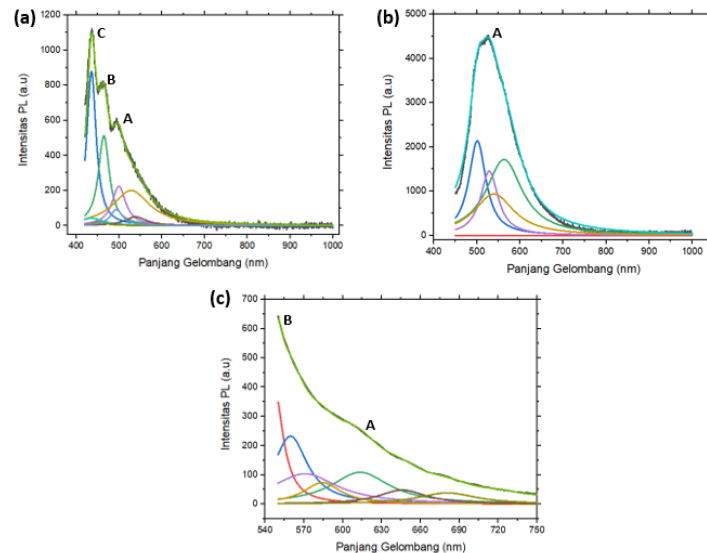
3.1 Karakterisasi UV-Vis



Gambar 3. 1 Spektrum UV-Vis MoS_2 dengan pelarut NMP

Pada Gambar 3.1 menunjukkan spektrum UV-Vis dari larutan MoS₂ dengan pelarut NMP pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Dihasilkan empat puncak serapan eksiton yaitu A, B, C, dan D pada panjang gelombang 540,5, 445, 361,5, dan 267 nm. Puncak A dan B di celah pita 2,494 eV dan 2,786 eV diinterpretasikan berasal dari transisi elektron pada level rendah pita valensi ke level eksiton sedangkan puncak C dan D merupakan transisi energi dari level rendah pita valensi ke pita konduksi [10]. Hasil karakterisasi UV-Vis MoS₂ pada puncak 540,5 nm dan 445 nm dapat diketahui bahwa sampel MoS₂ tersusun *multilayer* [10,11].

3.3 Karakterisasi Photoluminescence

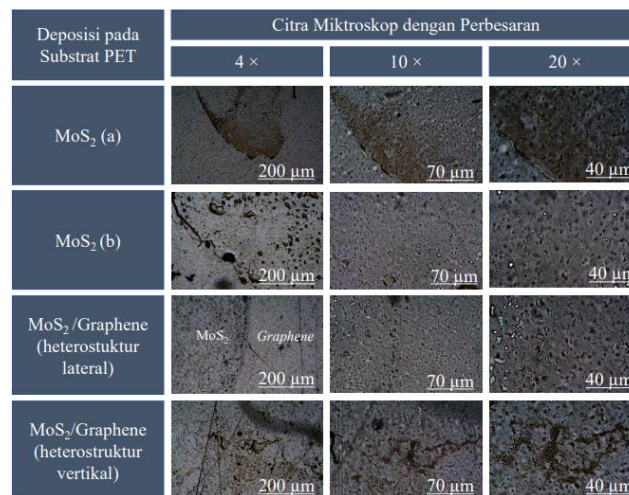


Gambar 3. 2 Spektrum Photoluminescence MoS₂ dengan pelarut NMP menggunakan (a) laser diode 402 nm, (b) laser pico 420 nm, dan (c) laser diode 532 nm.

Gambar 3.2 merupakan spektrum PL yang dihasilkan MoS₂ dengan pelarut NMP. Kurva dengan warna berbeda-beda merupakan hasil *fitting* dengan menggunakan fungsi Lorentzian dan mengindikasikan berbagai level energi yang ada pada material. Spektrum PL dieksitasi oleh laser dengan panjang gelombang 402 nm, 420 nm, dan 532 nm. Pada Gambar 3.2 (a) dan (b) menunjukkan spektrum PL MoS₂ pada rentang 400-1000 nm, sedangkan pada Gambar 3.2 (c) spektrum PL terdapat pada rentang 550-800 nm. Pada referensi [2,6] puncak PL yang terapat pada panjang gelombang ~600 nm merupakan puncak serapan eksiton.

Gambar 3.2 (a) menggunakan laser 402 nm, puncak A, B, dan C berturut-turut pada panjang gelombang 495,5 nm, 461,1 nm, dan 473,36 nm dengan intensitas PL sebesar 586,1 a.u., 811 a.u., dan 1089,76 a.u. Puncak rendah yang muncul pada panjang gelombang 437,1 nm, 451,5 nm, 530,8 nm, dan 536,1 nm diakibatkan oleh eksiton A, B, C, dan *defect-bound* [12,13]. Gambar 3.2 (b) dengan laser 420 nm menghasilkan puncak PL A pada panjang gelombang 524,7 nm dengan intensitas PL 4483,94 a.u. Puncak lainnya muncul pada panjang gelombang 501,6 nm dikarenakan transisi eksiton A [12]. Untuk panjang gelombang 542,4 nm, 564,8 nm merupakan *trion* (keadaan ikatan dua elektron dan satu *hole*) dimana kedua puncak tersebut berekombinasi bersama puncak 501,6 nm untuk menjadi puncak eksiton A [14]. Pada Gambar 3.2 (c) menggunakan laser 532 nm menghasilkan puncak A dan B berturut-turut pada panjang gelombang 612,4 nm dan 524,7 nm dengan intensitas PL sebesar 259,18 a.u. dan 4483,94 a.u. Puncak lainnya muncul pada panjang gelombang 550,3 nm 559,8 nm 572,5 nm dikarenakan transisi eksiton B, dan pada panjang gelombang 614,3 nm 683,3 nm disebabkan oleh transisi eksiton A [12]. Dengan menggunakan laser dengan panjang gelombang yang berbeda dihasilkan puncak PL yang berbeda pula.

3.4 Hasil Deposisi Substrat

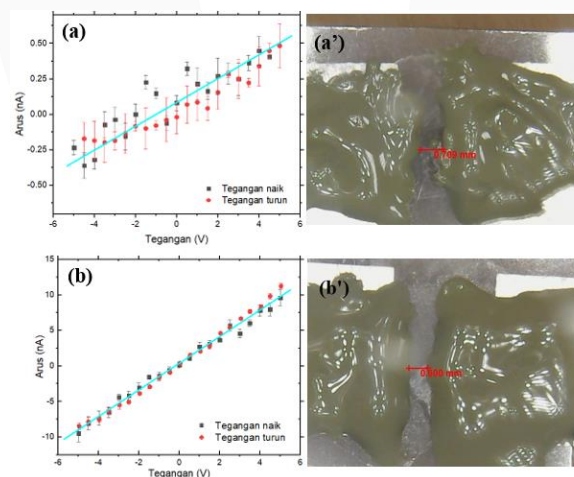


Gambar 3. 3 Citra mikroskop MoS₂ dengan perbesaran 4×, 10×, dan 20×

Pada Gambar 3.3 menampilkan citra mikroskop MoS₂ yang dideposisi diatas substrat PET. Kemudian citra diamati dengan perbesaran 4, 10, dan 20 kali. Sampel pertama yaitu MoS₂ (a) yang dibeli dari *graphene* supermarket. Sampel kedua yaitu MoS₂ (b) yang dibuat di lab dengan metode eksfoliasi fasa cair. Sampel ketiga yaitu MoS₂/Graphene yang merupakan sampel heterotruktur lateral. Sampel keempat yaitu MoS₂/Graphene yang merupakan sampel heterostruktur vertikal atau MoS₂ dideposisikan tepat diatas *graphene*.

Dari gambar sebaran sampel tersebut, didapatkan lebar rata-rata sampel yang diamati dengan persebaran 10 kali. Lapisan tunggal MoS₂ yang dibeli dari *graphene* supermarket memiliki lebar lapisan rata-rata $53,14 \pm 28,69 \mu\text{m}$. Lapisan tunggal MoS₂ yang dibuat di lab memiliki lebar lapisan rata-rata $16,46 \pm 8,09 \mu\text{m}$. Untuk lapisan heterostruktur (a) dan (b) masing-masing memiliki lebar lapisan rata-rata yaitu $11,86 \pm 4,06 \mu\text{m}$ dan $11,85 \pm 4,76 \mu\text{m}$. Pengamatan lebar celah antar lapisan diamati dengan perbesaran 20 kali. Lapisan MoS₂ yang dibeli dari *graphene* supermaeket memiliki lebar celah antar lapisan rata-rata sebesar $7,88 \pm 2,1 \mu\text{m}$. Lapisan MoS₂ yang dibuat di lab memiliki lebar celah antar lapisan yaitu $9,49 \pm 3,93 \mu\text{m}$. Untuk lapisan heterostruktur (a) dan (b) masing-masing memiliki lebar celah antar lapisan yaitu sebesar $8,24 \pm 4 \mu\text{m}$ dan $8,06 \pm 2,09 \mu\text{m}$.

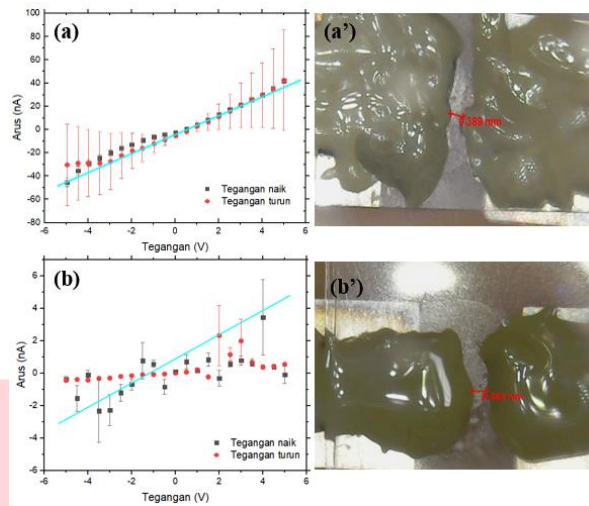
3.4 Sifat Listrik



Gambar 3. 4 Kurva I-V MoS₂ tunggal (a dan b) dan citra sampelnya (a' dan b') MoS₂.
Sampel MoS₂ A (a dan a'). Sampel B (b dan b').

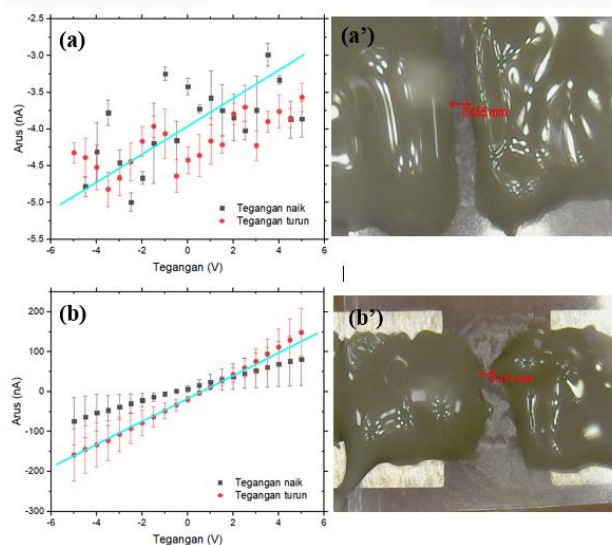
Gambar 3.4 (a-b) adalah kurva I-V dari sampel A dan B. Sampel A merupakan MoS₂ (a), sedangkan sampel B merupakan MoS₂ (b). Gambar 3.4 (a) diperlihatkan kurva I-V untuk sampel A, didapatkan grafik yang cenderung insulator tetapi mengalami fluktuasi. Arus yang dihasilkan yaitu dari -0,35 nA sampai 0,48 nA. Jarak elektroda sampel A ditunjukkan oleh Gambar 3.4 (a') yaitu 0,709 mm. Sampel A menghasilkan resistansi sebesar 89,08 GΩ. Gambar 3.4 (b) memperlihatkan karakteristik kurva I-V dari sampel B yang

berperilaku *ohmic* dan tidak adanya histerisis dengan arus yang mengalir dari -9,49 nA sampai 11,25 nA. Gambar 3.4 (b') menunjukkan jarak elektroda pada sampel B yaitu 0,600 mm. Sampel B menghasilkan resistansi sebesar 5,109 G Ω .



Gambar 3. 5 Kurva I-V MoS₂ heterostruktur lateral (a dan b) serta citra sampelnya (a' dan b'). Sampel C (a dan a'). Sampel D (b dan b').

Gambar 3.5 (a-b) adalah kurva I-V dari sampel C dan D. Sampel C merupakan heterostruktur MoS₂(a)/Graphene, sedangkan sampel D merupakan MoS₂(b)/Graphene. Gambar 3.5 (a) diperlihatkan kurva I-V untuk sampel C, didapatkan grafik yang berperilaku *ohmic* tetapi mengalami fluktuasi yang besar dan terdapat histerisis di daerah arus negatif. Arus yang dihasilkan yaitu dari -45,25 nA sampai 42,32 nA. Gambar 3.5 (a') merupakan jarak elektroda pada sampel C yaitu 0,389 mm. Resistansi yang dihasilkan oleh sampel C sebesar 1,347 G Ω . Gambar 3.5 (b) memperlihatkan karakteristik kurva I-V dari sampel D yang menghasilkan grafik yang acak dengan arus yang mengalir dari -2,32 nA sampai 3,43 nA. Gambar 3.5 (b') menunjukkan jarak elektroda pada sampel D yaitu 0,382 mm. Sampel D menghasilkan resistansi sebesar 11,642 G Ω .

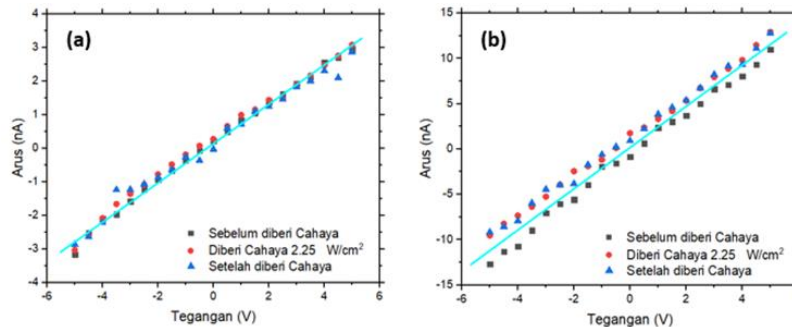


Gambar 3. 6 Kurva I-V MoS₂ heterostruktur vertikal (a dan b) serta citra sampelnya (a' dan b'). Sampel E (a dan a'). Sampel F (b dan b').

Gambar 3.6 (a-b) adalah kurva I-V dari sampel E dan F yang merupakan sampel heterostruktur vertikal MoS₂/Graphene. Sampel E merupakan heterostruktur vertikal MoS₂(a)/Graphene, sedangkan sampel F merupakan sampel heterostruktur vertikal MoS₂(b)/Graphene. Gambar 3.6 (a) diperlihatkan kurva I-V untuk sampel E mengalami fluktuasi yang besar. Arus yang dihasilkan yaitu dari -4,99 nA sampai -2,98 nA, pada sampel ini arus hanya mengalir pada daerah negatif. Gambar 3.6 (a') merupakan jarak elektroda pada sampel E yaitu 0,456 mm. Resistansi yang dihasilkan oleh sampel E sebesar -12,04 G Ω . Gambar 3.6 (b) memperlihatkan karakteristik kurva I-V dari sampel F yang menghasilkan grafik berperilaku *ohmic* tetapi

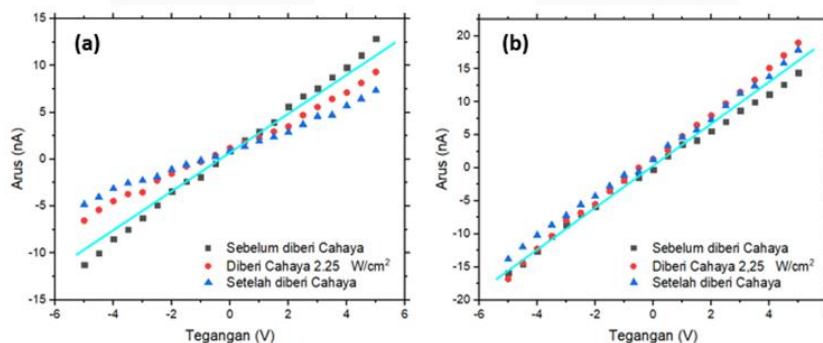
mengalami fluktuasi dengan arus yang mengalir dari -158,62 nA sampai 148,43 nA. Gambar 3.6 (b') menunjukkan jarak elektroda pada sampel F yaitu 0,311 mm. Sampel F menghasilkan resistansi sebesar 0,575 G Ω . Dari enam sampel yang di uji, dihasilkan grafik yang berbeda-beda. Hasil yang berbeda ini dimungkinkan karena jarak elektroda pada sampel. Semakin dekat elektroda pada sampel maka semakin besar arus yang dihasilkan. Maka dari itu diperlihatkan juga jarak antar elektroda pada sampel.

3.5 Sifat Optoelektronik



Gambar 3. 7 Kurva I-V MoS₂ tunggal sampel B (a dan a'). Ketika diberi cahaya (a) dan setelah diberi cahaya (a')

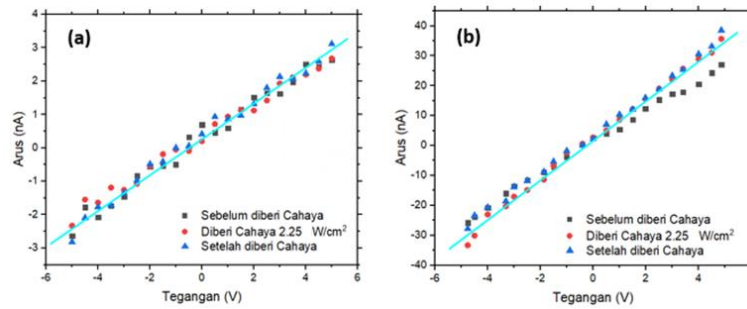
Gambar 3.7 merupakan kurva I-V optoelektronik dari sampel tunggal MoS₂. Gambar 3.7 (a) merupakan sampel tunggal MoS₂(a) dan Gambar 3.7 (b) sampel tunggal MoS₂(b). Kedua sampel diberikan cahaya dengan intensitas 2,65 mW. Diperlihatkan pada Gambar 3.7 (a) MoS₂(a) tidak mengalami kenaikan arus ketika diberikan cahaya dan setelah diberi cahaya. Nilai arus yang dihasilkan antara -3,03 nA sampai 3,08 nA. Setelah diberi cahaya arus mengalami sedikit fluktuasi. Pada Gambar 3.7 (b) MoS₂(b) mengalami kenaikan arus ketika diberikan cahaya. Arus saat sebelum diberikan cahaya yaitu -12,68 nA sampai 10,96 nA, saat diberikan cahaya menghasilkan arus -9,54 nA sampai 12,91, dan setelah diberikan cahaya nilai arus yang dihasilkan sama saat ketika sampel diberikan cahaya. Keduanya menghasilkan grafik I-V yang berperilaku *ohmic*.



Gambar 3. 8 Kurva I-V Optoelektronik heterostruktur lateral.

(a) MoS₂(a)/Graphene dan (b) MoS₂(b)/Graphene

Gambar 3.8 merupakan kurva I-V optoelektronik dari sampel heterostruktur lateral MoS₂. Sampel diberikan cahaya dengan intensitas 2,65 mW. Gambar 3.8 (a) merupakan heterostruktur MoS₂(a)/Graphene, menghasilkan grafik yang bersifat *ohmic* dengan arus -11,22 nA sampai 12,84 nA. Pada saat diberi cahaya arus mengalami penurunan, arus yang dihasilkan yaitu -6,53 nA sampai 9,31 nA dengan grafik yang bersifat semikonduktor. Setelah diberikan cahaya arus mengalami penurunan kembali, arus yang dihasilkan -4,81 nA sampai 7,34 nA dengan grafik bersifat semikonduktor. Gambar 3.8 (b) merupakan heterostruktur MoS₂(b)/Graphene. Grafik yang dihasilkan bersifat *ohmic*. Arus yang dihasilkan sebelum diberikan cahaya yaitu -15,89 nA sampai 14,40 nA. Pada saat diberikan cahaya arus mengalami kenaikan yaitu -16,81 nA sampai 18,95 nA dan setelah diberikan cahaya arus mengalami peningkatan pada daerah negatif dan penurunan di daerah positif yaitu -13,82 nA sampai 17,86 nA.

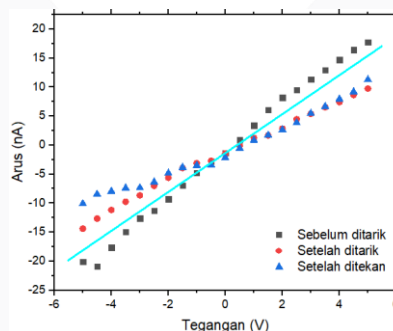


Gambar 3. 9 Kurva I-V Optoelektronik Heterostruktur vertikal.

(a) $\text{MoS}_2(\text{a})/\text{Graphene}$ dan (b) $\text{MoS}_2(\text{b})/\text{Graphene}$

Gambar 3.9 merupakan kurva I-V optoelektronik dari sampel heterostruktur vertikal MoS_2 . Sampel diberikan cahaya dengan intensitas 2,65 mW. Gambar 3.9 (a) merupakan heterostruktur vertikal $\text{MoS}_2(\text{a})/\text{Graphene}$, menghasilkan grafik yang bersifat *ohmic* yang fluktuatif dengan arus -2,63 nA sampai 2,63 nA. Pada saat diberi cahaya arus dihasilkan yaitu -2,33 nA sampai 2,67 nA. Setelah diberikan cahaya arus mengalami penurunan di daerah negatif dan fluktuatif di daerah positif, arus yang dihasilkan -2,81 nA sampai 3,11 nA. Gambar 3.9 (b) merupakan heterostruktur vertikal $\text{MoS}_2(\text{b})/\text{Graphene}$. Grafik yang dihasilkan bersifat *ohmic*. Arus yang dihasilkan sebelum diberikan cahaya yaitu -25,76 nA sampai 27,02 nA. Pada saat diberikan cahaya arus mengalami kenaikan di daerah positif yaitu -33,30 nA sampai 35,69 nA dan setelah diberikan cahaya arus mengalami peningkatan yaitu -27,85 nA sampai 38,5 nA. Berdasarkan hasil yang telah didapat, arus tidak kembali ke keadaan semula setelah diberikan cahaya. Hal ini dikarenakan sampel menyerap panas dari cahaya yang diberikan akibatnya struktur sampel berubah. Pada sampel $\text{MoS}_2(\text{b})$ menghasilkan arus yang lebih besar jika dibandingkan dengan sampel $\text{MoS}_2(\text{a})$.

3.6 Sifat Listrik MoS_2 Ketika Diberi Gangguan Mekanik



Gambar 3. 10 Kurva I-V MoS_2 saat diberikan gangguan mekanik.

Gambar 3.10 merupakan karakteristik I-V dari sampel tunggal MoS_2 (b) ketika diberikan gangguan mekanik. Dihasilkan grafik bersifat *ohmic*. Kurva berwarna hitam menunjukkan karakteristik I-V sebelum ditarik, menghasilkan arus terendah -20,9 nA sampai 17,78 nA. Saat diberi gangguan mekanik berupa tarikan arus yang dihasilkan mengalami penurunan, yaitu dari -13,49 nA sampai 9,74 nA yang ditunjukkan pada kurva berwarna merah. Kurva berwarna biru merupakan karakteristik I-V ketika sampel ditekan kembali, menghasilkan arus -10 nA sampai 11,3 nA. Terjadi perubahan arus pada sampel akibat diberikannya gangguan mekanik. Pada pengujian ini dihasilkan %strain sebesar 4,67%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Multilayer* MoS_2 bersifat insulator dengan arus yang dihasilkan berskala nano amper. Sampel dari graphene supermarket menunjukkan grafik yang fluktuatif.
2. Karakteristik UV-Vis memperlihatkan adanya banyak level energi serapan pada sampel. Pengujian *photoluminescence* menghasilkan puncak eksiton yang berbeda pada panjang gelombang yang berbeda pula.
3. Sifat optoelektronik menunjukkan adanya kenaikan arus ketika diberikan cahaya.
4. Sifat listrik ketika diberikan gangguan mekanik menghasilkan adanya penurunan arus ketika diberikan strain 4,67%.

Referensi

- [1] R. S. Sundaram *et al.*, "Electroluminescence in single layer MoS₂," *Nano Lett.*, vol. 13, no. 4, pp. 1416–1421, 2013, doi: 10.1021/nl400516a.
- [2] K. F. Mak, C. Lee, J. Hone, J. Shan, and T. F. Heinz, "Atomically thin MoS₂: A new direct-gap semiconductor," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 105, no. 13, 2010, doi: 10.1103/PhysRevLett.105.136805.
- [3] H. Dong, S. Guo, Y. Duan, F. Huang, W. Xu, and J. Zhang, "Research article Electronic and optical properties of single-layer MoS₂," no. July, 2018.
- [4] P. Li *et al.*, "A mixed-dimensional light-emitting diode based on a p-MoS₂ nanosheet and an n-CdSe nanowire," *Nanoscale*, vol. 9, no. 46, pp. 18175–18179, 2017, doi: 10.1039/c7nr05706g.
- [5] H. YANG, "Phase Engineering of Transition-Metal Dichalcogenides," *Phys. High Technol.*, vol. 25, no. 7/8, pp. 21–25, 2016, doi: 10.3938/phys.25.037.
- [6] S. Mouri, Y. Miyauchi, and K. Matsuda, "Tunable photoluminescence of monolayer MoS₂ via chemical doping," *Nano Lett.*, vol. 13, no. 12, pp. 5944–5948, 2013, doi: 10.1021/nl403036h.
- [7] O. Lopez-Sanchez, D. Lembke, M. Kayci, A. Radenovic, and A. Kis, "Ultrasensitive photodetectors based on monolayer MoS₂," *Nat. Nanotechnol.*, vol. 8, no. 7, pp. 497–501, 2013, doi: 10.1038/nnano.2013.100.
- [8] S. M. Phototransistors *et al.*, "Single-Layer MoS₂ Phototransistors**," 2012.
- [9] X. Wang, P. Wang, J. Wang, W. Hu, and X. Zhou, "Ultrasensitive and broadband MoS₂ photodetector driven by ferroelectrics."
- [10] M. U. Arshad, H. Raza, M. B. Khan, and A. Hussain, "Synthesis of 2D Molybdenum Disulfide (MoS₂) for enhancement of mechanical and electrical properties of polystyrene (PS) polymer," *Polym. Test.*, vol. 90, no. May, p. 106646, 2020, doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106646.
- [11] S. Bertolazzi, J. Brivio, and A. Kis, "Stretching and breaking of ultrathin MoS₂," *ACS Nano*, vol. 5, no. 12, pp. 9703–9709, 2011, doi: 10.1021/nn203879f.
- [12] D. Kaplan *et al.*, "Excitation intensity dependence of photoluminescence from monolayers of MoS₂ and WS₂/MoS₂ heterostructures," *2D Mater.*, vol. 3, no. 1, p. 15005, 2016, doi: 10.1088/2053-1583/3/1/015005.
- [13] I. P. Handayani, A. M. Utama, M. Rosi, A. M. Rafli, and A. Setiawan, "Optical and electrical characterization of WS₂ multilayer on flexible PET substrate," *Mater. Res. Express*, vol. 8, no. 2, 2021, doi: 10.1088/2053-1591/abe54f.
- [14] H. Yin *et al.*, "2D gold supercrystal-MoS₂ hybrids: Photoluminescence quenching," *Mater. Lett.*, vol. 255, p. 126531, 2019, doi: 10.1016/j.matlet.2019.126531.