

**PEMBUATAN PARTIKEL SUBMIKROMETER MoS_2 DENGAN
METODE ELEKTROKIMIA**
*MAKING MoS_2 SUBMICROMETER PARTICLE WITH ELEKTYROHEMICAL
METHOD*

Reska Mulyasari¹, I. P. Handayani^{2*}, Abrar³

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

,Reskamulyasari@student.telkomuniversity.ac.id¹, iphandayani@telkomuniversity.ac.id²,
abrarselah@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

ABSTRAK

Penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini adalah pembuatan partikel submikrometer dengan menggunakan bahan MoS_2 yang termasuk dalam satu kelompok logam transisi *dichalcogenide* (TMDC). Partikel submikrometer merupakan partikel yang berukuran kurang dari 1 μm . Ukuran partikel yang baik memiliki diameter partikel antara 200 nm dan 400 nm. Partikel submikrometer memiliki sifat optik yang tergantung pada ukurannya. Partikel submikrometer ini dapat diterapkan dalam bidang optoelektronik dan bidang biomedis misalnya digunakan dalam penghantar obat untuk meningkatkan stabilitas zat aktif dan meningkatkan absorpsi. Pembuatan partikel submikrometer dapat dilakukan dengan beberapa metode sintesis seperti: metode sonikasi ultrasonik, *microwavte*, dan elektrokimia. Pada penelitian ini proses sintesis partikel submikrometer MoS_2 dilakukan dengan metode elektrokimia yang menggunakan dua elektroda karbon serta tegangan DC *power supply* untuk menghasilkan ukuran partikel yang berbeda. Hasil sintesis partikel submikrometer MoS_2 dikarakterisasi dengan PSA dan *photoluminescence*. Hasil dari karakterisasi PSA pada sampel 16 jam memiliki 2 kelompok partikel yang masing-masing berukuran sekitar 125,7 nm dan 1616,2 nm, sedangkan partikel yang disintesis selama 30 jam memiliki ukuran rata-rata 92,6 nm dan 485 nm. Karakteristik *Photoluminescence* dengan sampel 16 jam menggunakan tegangan 4 Volt menghasilkan eksitasi maksimum di panjang gelombang 565 nm.

Kata Kunci: MoS_2 Submikrometer Partikel, Photoluminescence

Abstract

This final project studies the synthesis and the characterization of MoS_2 sub-micrometer particles. In general, the size of submicrometer particles are below 1 micrometer. A good submicrometer particle size has a particle diameter between 200 nm and 400 nm. Submicrometer particles have optical properties that depend on their size. These submicrometer particles can be applied in optoelectronic and biomedical fields, for example they were used in drug delivery to increase the stability of the active substance and improve absorption. The manufacture of submicrometer particle can be carried out by several synthesis methods such as ultrasonic, microwave, and electrochemical sonication methods. In this study, the synthesis of MoS_2 submicrometer particles were carried out using an electrochemical method using two carbon electrodes and a DC power supply voltage to produce different particle sizes. The results of the MoS_2 submicrometer synthesis were characterized by PSA and Photoluminescence. The PSA characterization on 16 hours synthesis results in two group of particles with their size are 127,5 nm and 1616,1 nm, while the 30 synthesis obtains particles with average size of 92,6 nm and 485 nm. The photoluminescence characteristics of the sample with 16 hours synthesis using a voltage of 4V shows a maximum spectrum at a wavelength of 565 nm.

Keywords: MoS_2 submicrometer particles, electrochemistry, photoluminescence

1. Pendahuluan

Submikrometer partikel merupakan material yang berbentuk partikel semikonduktor dengan ukuran nanometer. Ukuran yang dimiliki oleh submikrometer partikel berada di rentang 1 nm hingga 1000 nm, tetapi kebanyakan metode yang pernah dilakukan ukuran partikel yang baik memiliki diameter partikel antara 200 nm dan 400 nm. Karena ukuran submikrometer partikel sangat kecil, sehingga dapat di aplikasikan dalam bidang optoelektronik dan bidang biomedis. Submikrometer partikel bertujuan untuk mengatasi kelarutan zat aktif yang susah larut, meningkatkan bioavailabilitas yang buruk, mengubah sistem penghantar obat untuk meningkatkan stabilitas zat aktif dan meningkatkan absorpsi[1]. Umumnya submikrometer partikel memiliki

serapan intraseluler yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan mikropartikel dan untuk digunakan dalam bidang biologis cukup baik karena mempunyai ukuran yang kecil dan mobilitas yang relatif[2].

Pembuatan Submikrometer partikel ini menggunakan beberapa material diantaranya yaitu karbon, Molybdenum disulfide (MoS_2), dan Tungsten disulfide (WS_2). Metode yang dapat digunakan untuk sintesis Submikrometer partikel ada beberapa cara seperti metode microwave dan elektrokimia. Pada penelitian ini penulis akan menggunakan bahan MoS_2 yang merupakan salah satu kelompok logam transisi *dichalcogenides* (TMDC) dan menggunakan metode elektrokimia.

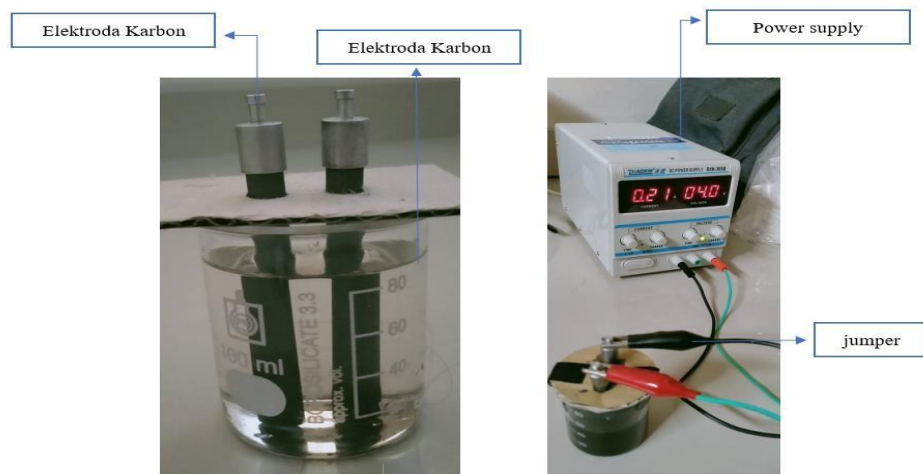
Pada penelitian sebelumnya berhasil membuat MoS_2 Submikrometer partikel dengan suhu rendah melalui larutan kimia yang menggunakan prekursor organologam dan sulfur. Reaksi yang dihasilkan dari $Mo(CO)_6$ dan unsur belerang dalam p-xylene dibawah refluks menghasilkan bubuk coklat. Pada penelitian ini menghasilkan HRTEM yang menunjukkan bahwa serbuk ini di dominasi MoS_2 dalam bentuk submikrometer partikel bulat. Setelah melalui proses penguatan HRTEM menghasilkan submikrometer partikel MoS_2 yang agakmengkristal diperoleh dari bidang van der Waals.

Pada peneliti kali ini, penulis akan membuat MoS_2 Submikrometer partikel menggunakan elektrolit PBS dengan pH, dengan memvariasikan tegangan dan waktu reaksi yang diberikan. Photoluminescence (PL) digunakan untuk mengkarakterisasi Submikrometer partikel MoS_2 dan untuk mengetahui ukuran digunakan pengujian *Transmission Electron*

1. Perancangan Penelitian

Pada penelitian ini membuat partikel submikrometer dengan bahan material MoS_2 dengan ukuran awal partikel $2 \mu m$. Dalam pembuatan partikel submikrometer ini, menggunakan metode elektrokimia dengan alat dan bahan yang diperlukan yaitu gelas kimia, sumber tegangan DC, elektroda karbon, cairan *phosphate buffer* (PBS) sebagai elektrolit dan bubuk MoS_2 . Kemudian akan dilakukan set up alat dan bahan dan dilakukan sintesis terhadap MoS_2 untuk menghasilkan partikel submikrometer. Setelah dilakukan sintesis akan dilihat perubahan warna yang terjadi dengan melihat apakah *photoluminescent* ada atau tidak. Untuk mengkarakteristik ukuran partikel submikrometer digunakan *photoluminescence* dan SEM sebagai alat uji

2.1 Metode Elektrokimia



Gambar 2.1. Set Up Alat Elektrokimia

Seperti pada Gambar 2.1, alat dan bahan yang diperlukan yaitu cairan elektrolit gelas kimia (100 mL), sumber tegangan DC, 2 buah elektroda Karbon ditempatkan terpisah dengan jarak 1 cm, larutan elektrolit *phosphate buffer saline* (PBS), kabel probe untuk menyambungkan sumber tegangan ke elektroda. Semua alat dan bahan di *set up* sesuai dengan Gambar 2.1

2.2 Proses pembuatan Submikrometer partikel

Hal pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah memasukkan 0.2 g bubuk MoS_2 dan 80 mL elektrolit PBS ke dalam gelas kimia 100 mL. Kemudian pasang dengan dua elektroda karbon sebagai anoda dan katoda, yang akan menghasilkan gelembung selama proses elektrolisis. Setelah menyelesaikan *set up* elektrokimia dan menghubungkan ke sumber tegangan. Kemudian dilakukan eksperimen dengan 3 V, 4 V, dan 5 V. Selanjutnya, hasil percobaan diamati setiap waktu 8 jam, 16 jam, 24 jam dan 30 jam. Diperoleh 4 sampel pada

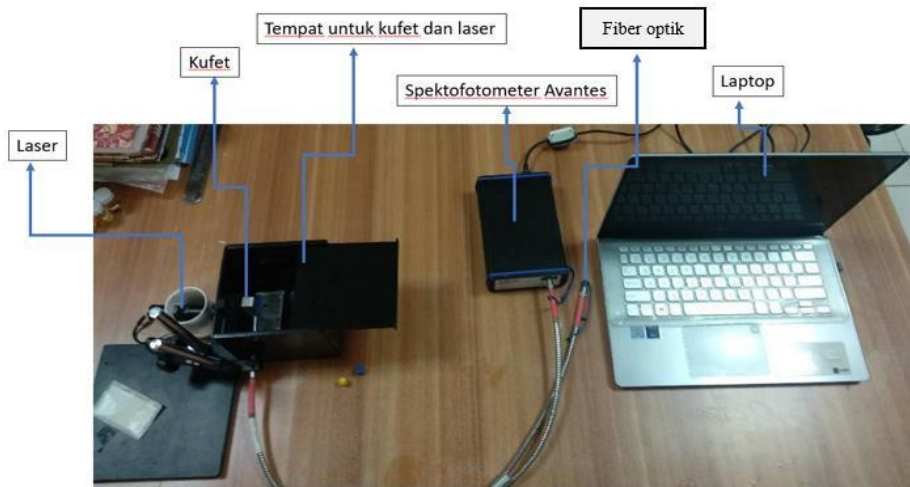
setiap sumber tegangan dan amati apakah setiap sampel menunjukkan perbedaan warna. Jika terdapat perbedaan warna, berarti pada proses sintesis telah terbentuk partikel submikrometer MoS_2 .

2.3 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 serapan yang dihasilkan.

2.4 Karakterisasi Photoluminescence Submikrometer partikel MoS_2

Setelah submikrometer partikel berhasil disintesis maka, selanjutnya dilakukan karakterisasi menggunakan photoluminescence (PL) untuk melihat pendaran yang dihasilkan dari proses sintesis. Nilai spektrum gelombang yang dihasilkan pada setiap warna akan berbeda-beda. Proses set up untuk pengukuran photoluminescence seperti pada gambar 2.2. Alat yang dibutuhkan untuk merancang set up photoluminescence yaitu lensa / cahaya halogen, sampel dari sintesis MoS_2 , photodetector, spektrofotometer, dan laptop.



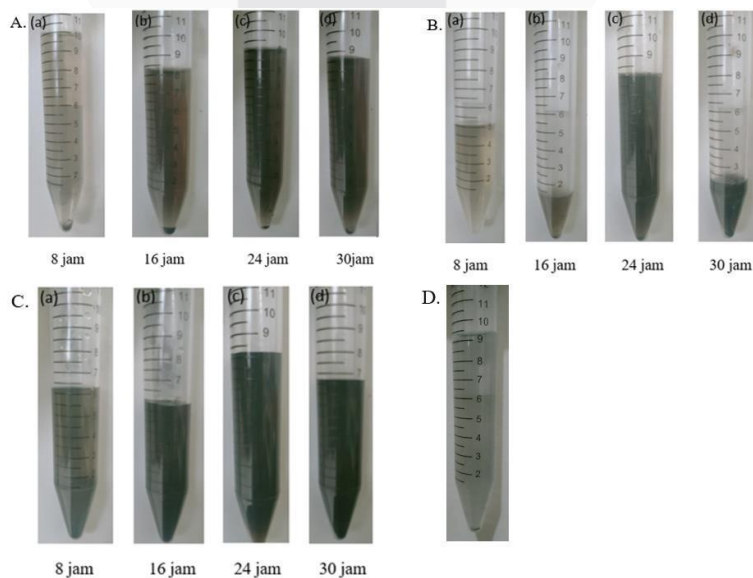
Gambar 2.2. Set Up Alat Photoluminescence

2.5 Karakterisasi PSA

Karakterisasi Particle Size Analyzer (PSA) dilakukan di laboratorium karakterisasi riset center Institut Teknologi Bandung menggunakan Horiba SZ100

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Sintesis MoS_2 Submikrometer Partikel

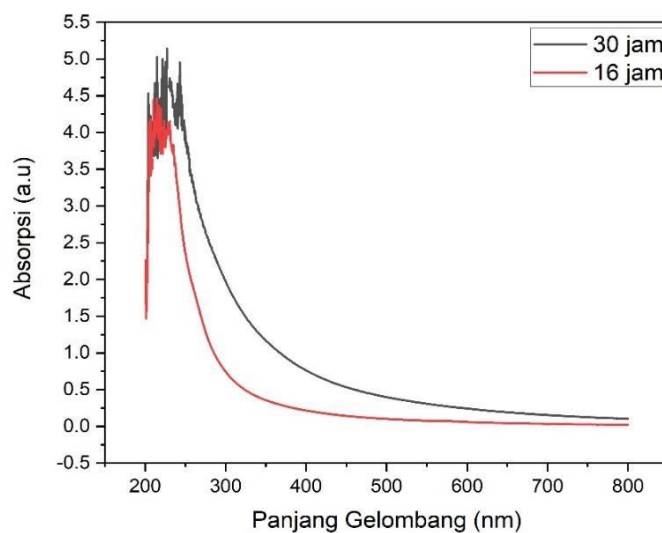


Gambar 3. 1 Hasil sintesis MoS_2 Submikrometer Partikel A). Sample dengan tegangan 3V, B) Sample dengan tegangan 4V, C) sample dengan tegangan 5V, D) sampel yang belum disintesis.

Gambar 3.1 hasil sintesis MoS_2 Submikrometer partikel dengan menggunakan tegangan 3V, 4V dan 5V. Pada sistesis ini dilakukan pengambilan sampel secara bertahap dengan waktu 8 jam, 16 jam, 24 jam dan 30 jam. Setiap sampel mempunyai masing-masing warna yang berbeda-beda. Semakin lama proses sintesis maka semakin pekat warna yang dihasilkan.

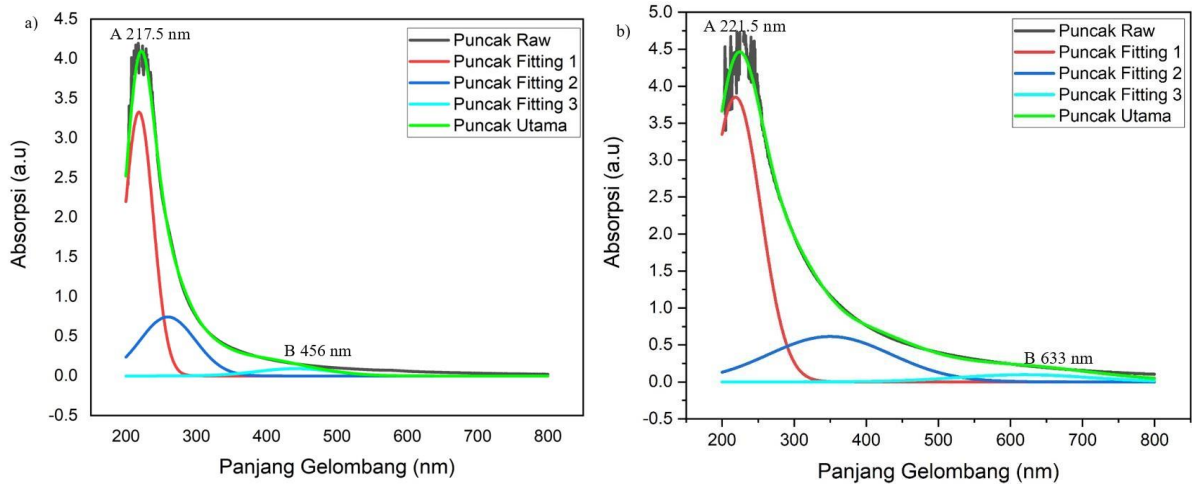
Pada Gambar 3.1 (A) hasil dari sintesis yang dilakukan menggunakan tegangan 3 V, pada proses ini warna cairan mulai berubah menjadi kuning sekitar 7 jam lama sintesis, pada Gambar 3.1 (B) sampel yang disintesis menggunakan tegangan 4 V dan mulai mengalami perubahan warna pada 5 jam lama sintesis. Sedangkan pada Gambar 3.1 (C) sampel disintesis dengan tegangan 5 V dan mengalami perubahan warna bening ke kuning memerlukan waktu sintesis sekitar 3 jam sintesis. Sedangkan pada Gambar 3.1 (D) adalah sampel yang belum disintesis yang memiliki warna bening. Dilihat dari peristiwa ini makin tinggi tegangan yang diberikan semakin cepat mengalami perubahan warna. Pengaruh warna terhadap waktu sintesis juga dapat dilihat karena massa jenis MoS_2 sebelum mengalami pemecahan lebih besar sehingga cenderung mengendap di dasar tabung sehingga semakin lama waktu disintesis maka semakin pekat warna yang diperoleh, Hal ini terjadi karena energi yang memecah menjadi partikel submikrometer MoS_2 semakin besar.

3.2 Karakterisasi Uv-Vis



Gambar 3. 2 Hasil Perbandingan Spektrum Uv-Vis MoS_2 Submikrometer Partikel antara sample 16 jam dan 30 jam

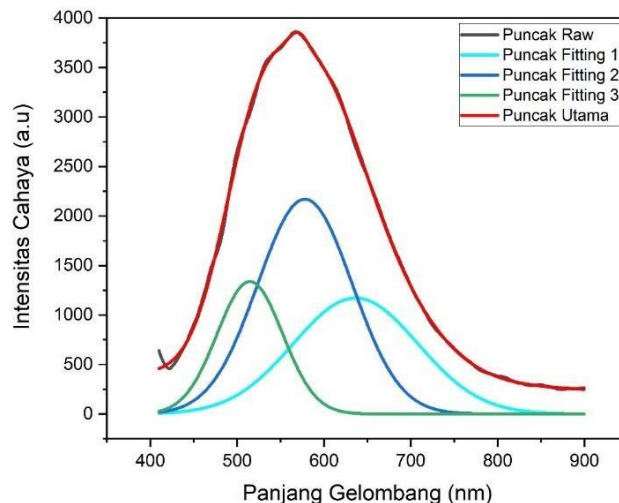
Pada gambar 3.2 menunjukkan perbandingan MoS_2 Submikrometer partikel antara sample 16 jam (merah) dengan sample 30 jam (hitam). Dapat di lihat pada grafik tersebut dimana absorpsi sample 30 jam lebih tinggi dari absorpsi 16 jam. Pada sample 30 jam memiliki absorpsi maximal 5.2 a.u sedangkan absorpsi sample 16 jam memiliki 4.5 a.u. jadi pada grafik ini dapat dilihat semakin lama waktu sintesis MoS_2 Submikrometer partikel maka semakin tinggi absorpsi yang dihasilkan.



Gambar 3. 3 Spektrum Uv-Vis MoS_2 Submikrometer Partikel yang telah difitting (a) sample dengan waktu sintesis 16 jam di encerkan 10 kali (b) sample dengan waktu sintesis 30 jam di encerkan 10 kali

Pada Gambar 3.3 menunjukkan grafik spektrum serapan Uv-Vis sampel yang disintesis selama 16 jam dan di encerkan 10 kali. Pada Gambar 3.3 (a) menunjukkan bahwa spektrum serapan Uv-Vis memiliki serapan maksimum pada panjang gelombang 217.5 nm dengan kurva berwarna merah dan serapan minimumnya pada panjang gelombang 456 nm. Nilai serapan ini setara dengan energi gap yang masing-masing 5.7 eV dan 2.7 eV. Gambar 3.3 (b) dapat dilihat spektrum Uv-Vis partikel submikrometer MoS_2 yang diencerkan 10x menggunakan sampel yang disintesis selama 30 jam dengan panjang gelombang antara 200 nm sampai 800 nm. Spektrum Uv-Vis ini menghasilkan puncak serapan maksimum di panjang gelombang 221.5 nm yang ditunjukkan oleh kurva berwarna merah dan serapan minimumnya ada di panjang gelombang 633 nm yang ditunjukkan oleh kurva berwarna biru toska dengan energi gap yang dimiliki masing-masing 5.6 eV dan 1,9 eV. Transisi pada serapan sampel 16 jam memiliki serapan eksiton yang muncul dari transisi *direct gap* MoS_2 sedangkan pada sampel 30 jam memiliki serapan transisi optik dari pita valensi ke pita konduksi. Pada kedua sampel 16 jam dan 30 jam ini serapan tertingginya berada di panjang gelombang 217 nm dan 221 nm memiliki serapan yang di akibatkan oleh ukuran kecil dari submikrometer MoS_2 .

3.3 Karakterisasi Photoluminescence

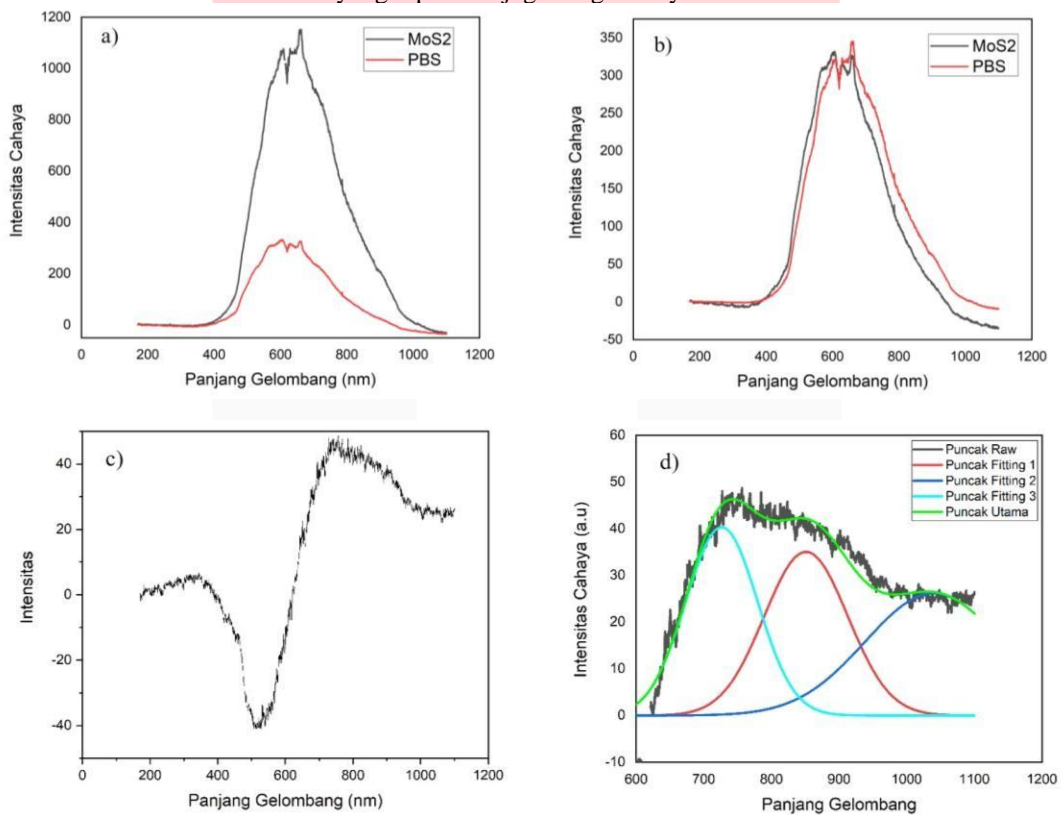


Gambar 3.4 Spektrum Photoluminescence sample 16 jam

Tabel 3. 1 Hasil Kalkulasi Karakterisasi PL Pengukuran di LIPI sampel 16 jam 4 Volt

Parameter	Puncak			
	Utama	Fitting 1	Fitting 2	Fitting 3
Intensitas	3855,34	1168,28	2169,1	1334,7
Posisi	568,32 nm	638,07 nm	576,73 nm	512.25 nm
FHWM	174,67 nm	168,91 nm	127,96 nm	88,7 nm

Gambar 3.4 Hasil analisis spektrum *Photoluminescence* yang dieksitasi dengan laser 405 nm dan diperoleh hasil eksitasi maksimum pada panjang gelombang 565 nm dengan intensitas cahaya 3865. Puncak *Photoluminescence* yang terlihat pada panjang gelombang ~578 nm merupakan akibat dari serapan eksiton A. Pada Tabel 3.1 hasil kalkulasi karakterisasi PL menunjukkan intensitas sangat besar sehingga jumlah partikel yang diperoleh juga sangat banyak.



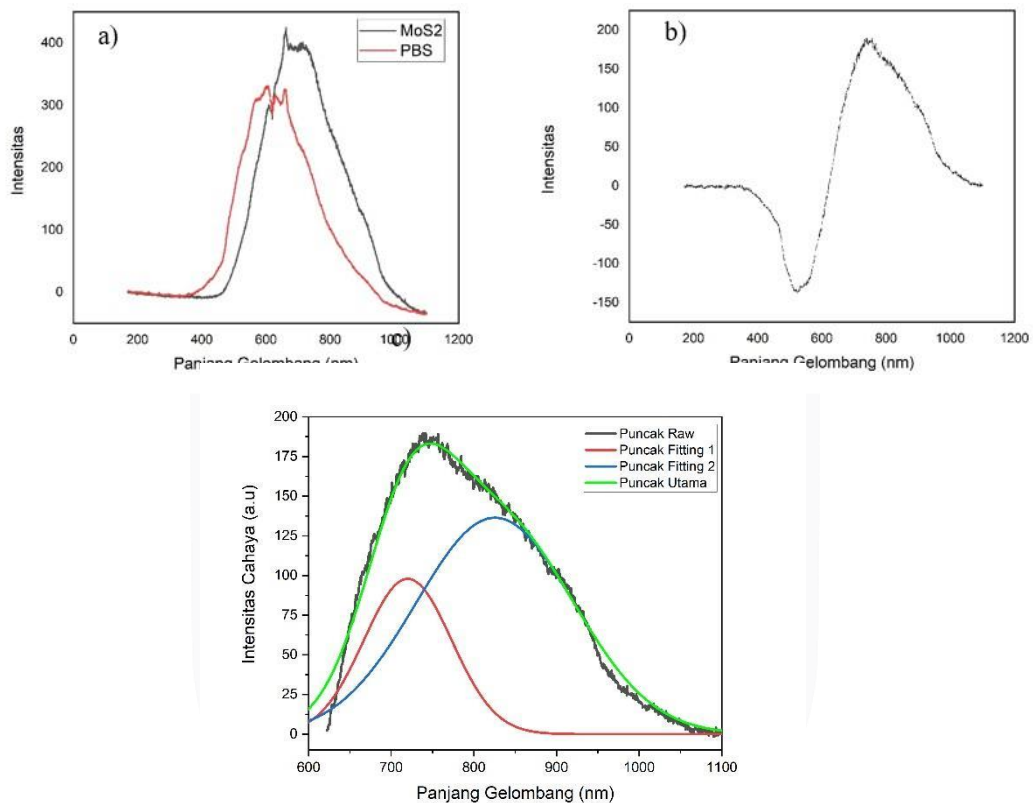
Gambar 3. 3 (a) Grafik Intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh PBS dan larutan *MoS2*, (b) Grafik Intensitas Cahaya yang ditransmisikan oleh PBS dan larutan *MoS2* yang telah dikalikan dengan nilai 0.3 agar dapat dibandingkan, (c) Hasil pengurangan transmisi oleh larutan PBS pada grafik (b), dan (d) Hasil fitting PL yang disintesis 16 jam

Tabel 3. 2 Hasil Kalkulasi Karakterisasi PL pengujian di Lab dengan sample 16 jam 4 Volt

Parameter	Puncak			
	Utama	Fitting 1	Fitting 2	Fitting 3
Intensitas	46,42	35,01	25,86	40,83
Posisi	738,84 nm	849,62 nm	1030,93 nm	722,72 nm

FHWM	370,46	145,56	237,59	124,49
------	--------	--------	--------	--------

Gambar 3.5 (a) menunjukkan grafik perbandingan intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh larutan elektrolit PBS dengan sampel MoS_2 yang disintesis dengan lama waktu 16 jam. Pada grafik tersebut, dilihat grafik larutan elektrolit PBS sangat rendah sehingga tidak dapat dibandingkan. Sehingga grafik sampel MoS_2 dikalikan dengan 0.3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 (b). Pada grafik tersebut, dapat dilihat pada grafik sampel yang disintesis dengan waktu 16 jam (hitam), terjadi serapan pada panjang gelombang 389 nm sampai 602 nm, dan pada panjang gelombang 628 nm sampai 1095 nm terdapat puncak baru yang menunjukkan adanya emisi cahaya. Pada Gambar 3.5 (c) menunjukkan hasil pengurangan grafik MoS_2 dengan grafik PBS pada Gambar 3.5 (b). Pada gambar tersebut dapat dilihat serapan yang terjadi pada panjang gelombang 358 nm hingga 632 nm dan mengemisikan cahaya pada panjang gelombang 656 nm hingga 1095 nm. Sedangkan pada Gambar 3.5 (d) menunjukkan cahaya yang telah diemisikan oleh intensitas cahaya yang merupakan *Photoluminescence* dari sampel MoS_2 yang telah disintesis dengan waktu 16 jam. Pada hasil dari grafik ini memiliki puncak di 754 nm. Pada tabel 3.2 posisi puncak tertinggi berada dipuncak fitting 2 sehingga memiliki ukuran partikel yang lebih kecil.



Gambar 3. 4 (a) Grafik Intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh PBS dan larutan MoS_2 , (b) Hasil pengurangan transmisi oleh larutan PBS pada grafik (a), dan (c) Hasil fitting PL yang disintesis selama 30 jam

Tabel 3. 3 Hasil Kalkulasi Karakterisasi PL Pengujian di Lab sampel 30 jam 4 Volt

Parameter	Puncak		
	Utama	Fitting 1	Fitting 2
Intensitas	183,4	97,83	136,37
Posisi	740,57 nm	718,11 nm	827,48 nm
FHWM	241,42	124,79	224,8

Gambar dari 3.6 ini merupakan hasil grafik intensitas cahaya transmisi dengan menggunakan sampel partikel submikrometer MoS_2 yang disintesis dengan waktu 30 jam menggunakan metode elektrokimia. Pada Gambar 3.6 (a). Menunjukkan grafik perbandingan intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh larutan PBS dengan larutan sampel MoS_2 yang disintesis 30 jam. Pada grafik tersebut dilihat terjadi serapan pada panjang

gelombang 345 nm hingga 614 nm, dan terdapat emisi cahaya pada panjang gelombang 625 nm hingga 1092 nm. Kemudian pada Gambar 3.6 (b) menunjukkan hasil pengurangan grafik MoS_2 dengan grafik pada gambar 4.5 (a) Pada gambar tersebut dapat dilihat intensitas cahaya yang diserap oleh cahaya ada di panjang gelombang 361 nm hingga 618 nm, dan mulai mengemisikan cahaya pada panjang gelombang 618 nm hingga 1092 nm. Sedangkan pada Gambar 3.6 (c) menunjukkan hasil emisi yang di peroleh di Gambar 3.6 (b) yang telah di fitting menggunakan Gaussian dan memiliki puncak emisi di panjang gelombang 734 nm. Berdasarkan Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 menunjukkan jumlah puncak lebih sedikit dan nilai FWHM lebih kecil pada saat sampel disintesis dengan waktu 30 jam berarti memiliki ukuran yang lebih seragam.

3.4 Hasil Karakteristik PSA (*Partikel Size Analyzer*)

Tabel 3. 4 Calculation Results Sampel dengan waktu 16 jam

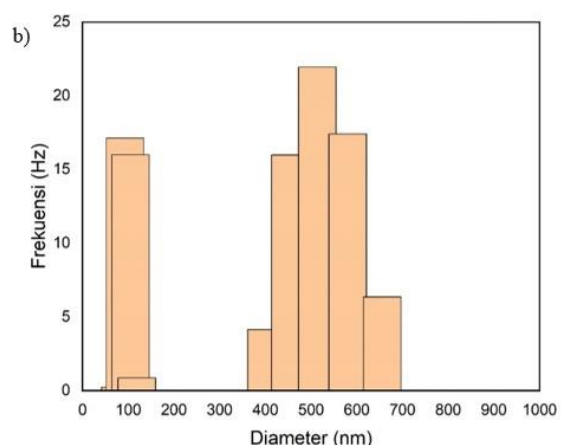
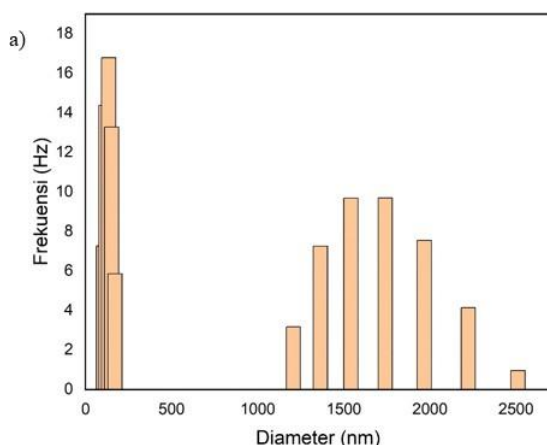
Peak No.	S.P.Area Ratio	Mean	S.D	Mode
1	0.58	126.5 nm	18.2 nm	125.7 nm
2	0.42	1595.2 nm	294.1 nm	1616.1
3	--	-- nm	-- nm	-- nm
Total	1.00	749.7	750.9	125.7 nm

Pada tabel 3.4 merupakan hasil karakterisasi PSA yang ditampilkan dalam bentuk grafik ukuran partikel yang terdiri dari dua kelompok pada gambar 4.5, dimana ukuran partikel dari kelompok pertama adalah dalam kisaran 105 nm sampai 171 nm , populasinya adalah 58%, dan ukuran yang kedua adalah partikel dalam kisaran 1207 nm sampai 2511 nm dengan populasi 42%. Di puncak pertama memiliki 16.8% setiap ukuran dari total volume dengan puncak distribusi tertinggi berada pada ukuran partikel 125.7 nm. Kemudian pada puncak kedua 9.7% dari setiap ukuran dari total volume dengan puncak distribusi tertinggi berada pada ukuran partikel 1616.1 nm.

Tabel 3. 5 Calculation Results Sampel dengan waktu 30 jam

Peak No.	S.P.Area Ratio	Mean	S.D.	Mode
1	0.34	93.4 nm	6.4 nm	92.6 nm
2	0.66	492.7 nm	64.1 nm	485.2 nm
3	--	-- nm	-- nm	-- nm
Total	1.00	356.1 nm	196.5 nm	485.2 nm

Hasil dari pengujian PSA pada sampel dengan waktu 30 jam dapat dilihat pada tabel 3.5 hasil dari pengujian PSA ini terdiri dari dua bagian yang dimana ukuran dari bagian pertama memiliki ukuran partikel di kisaran 82.33 nm sampai 118.74 nm dengan memiliki populasi yaitu 34%. Sedangkan pada bagian dua memiliki ukuran partikel di antara 402.44 hingga 655.76 nm dengan populasi 66%. Pada puncak bagian pertama memiliki 17.12% di setiap ukuran dari total volume memiliki puncak distribusi tertinggi pada ukuran partikel 92.6 nm. Kemudian pada puncak kedua memiliki 21.9% di setiap ukuran total volume puncak distribusi tertinggi pada ukuran partikel 485.2 nm.



Gambar 3. 5 Hasil Uji PSA a) sampel dengan waktu 16 jam b) sampel dengan waktu 30 jam

Pada Gambar 3.7 menunjukkan hasil grafik dari pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA) dari sampel yang teruji yaitu sampel dengan waktu sintesis 16 jam dan 30 jam. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa sampel memiliki 2 kelompok ukuran partikel. Hal ini disebabkan karena proses sintesis elektrokimia menghasilkan efek medan listrik dalam larutan tidak merata sehingga larutan bagian tengah yang dekat dengan elektroda pemecahan partikelnya lebih cepat daripada larutan yang berada di pinggir gelas kimia. Gambar 3.7 diatas menunjukkan bahwa ukuran partikel pada sampel 30 jam lebih kecil dibandingkan dengan sampel 16 jam. Hal tersebut dikarenakan proses pemecahan partikel lebih lama sehingga semakin lama proses sintesis dilakukan maka semakin kecil ukuran yang dihasilkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil sintesis menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan yang diberikan semakin cepat mengalami perubahan warna sedangkan pada karakterisasi PSA memperlihatkan semakin lama waktu sintesis semakin kecil ukuran partikel yang dihasilkan.
2. Hasil karakterisasi PL pada sampel 16 jam menghasilkan puncak di panjang gelombang 754 nm dengan intensitas cahaya 56 a.u. sedangkan pada sampel 30 jam menghasilkan puncak di panjang gelombang 734 nm dengan intensitas 190 a.u. Hal ini dapat dilihat bahwa semakin lama sampel disintesis maka semakin tinggi juga intensitas cahaya yang diemisikan.

REFERENSI

- [1] Iskandar, Ferry, Mikrajuddin Abdullah, and Kikuo Okuyama. "Preparation of Optical and Magnetic Ordered Macroporous Material via Colloidal Templates."
- [2] Catalán-Gómez, Sergio, et al. "Photoluminescence enhancement of monolayer MoS₂ using plasmonic gallium nanoparticles." *Nanoscale Advances* 1.2 (2019): 884-893.
- [3] Qiu, Diana Y., H. Felipe, and Steven G. Louie. "Optical spectrum of MoS₂: many-body effects and diversity of exciton states." *Physical review letters* 111.21 (2013): 216805.
- [4] Duphil, Dominique, Stéphane Bastide, and Claude Lévy-Clément. "Chemical synthesis of molybdenum disulfide nanoparticles in an organic solution." *Journal of Materials Chemistry* 12.8 (2002): 2430-2432.
- [5] Muscuso, Lucia, et al. "Optical, vibrational, and structural properties of MoS₂ nanoparticles obtained by exfoliation and fragmentation via ultrasound cavitation in isopropyl alcohol." *The Journal of Physical Chemistry C* 119.7 (2015): 3791-3801.
- [6] Bazaka, Kateryna, et al. "MoS₂-based nanostructures: synthesis and applications in medicine." *Journal of Physics D: Applied Physics* 52.18 (2019): 183001.
- [7] Kaplan, D., et al. "Excitation intensity dependence of photoluminescence from monolayers of MoS₂ and WS₂/MoS₂ heterostructures." *2D Materials* 3.1 (2016): 015005.
- [8] Zhang, Kai, et al. "Functionalized MoS₂-nanoparticles for transdermal drug delivery of atenolol." *Drug Delivery* 27.1 (2020): 909-916.
- [9] Li, Tianshu, and Giulia Galli. "Electronic properties of MoS₂ nanoparticles." *The Journal of Physical Chemistry C* 111.44 (2007): 16192-16196.
- [10] Cai, Zhengyang, et al. "Chemical vapor deposition growth and applications of two-dimensional materials and their heterostructures." *Chemical reviews* 118.13 (2018): 6091-6133.