

*Skripsi*

**DEPOSISI SECARA REDOKS NANOPARTIKEL  $MnO_2$  PADA  
PERMUKAAN KARBON AKTIF SEKAM PADI (*Oryza sativa*) DAN  
POTENSINYA SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA  
PSEUDOKAPASITOR**

**IRMA YANI**

**H311 13 033**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2017**

**DEPOSISI SECARA REDOKS NANOPARTIKEL  $MnO_2$  PADA  
PERMUKAAN KARBON AKTIF SEKAM PADI (*Oryza sativa*) DAN  
POTENSINYA SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA  
PSEUDOKAPASITOR**

*skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains*

**Oleh:**

**IRMA YANI  
H311 13 033**



**MAKASSAR**

**2017**

**SKRIPSI**

**DEPOSISI SECARA REDOKS NANOPARTIKEL  $MnO_2$  PADA  
PERMUKAAN KARBON AKTIF SEKAM PADI (*Oryza sativa*) DAN  
POTENSINYA SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA  
PSEUDOKAPASITOR**

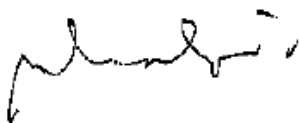
**Disusun dan diajukan oleh:**

**IRMA YANI**

**H 311 13 033**

**Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh:**

**Pembimbing Utama**



**Dr. Sci. Muhammad Zakir**  
**NIP. 19701103 199903 1 001**

**Pembimbing Pertama**



**Dr. Maming, M.Si**  
**NIP. 19631231 198903 1 031**

***“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi,  
dan silih bergantinya malam dan siang  
terdapat tanda-tanda bagi orang yang berakal”***

**(Qs. Ali Imran (3): 190)**

***“Kenyataan hari ini adalah mimpi kemarin dan mimpi hari  
ini adalah kenyataan hari esok”***

**(Hassan Al-Banna)**

## PRAKATA

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Segala puji bagi Allah Tuhan seluruh alam yang telah memberi sebaik-baik nikmat berupa Iman dan Islam yang Alhamdulillah masih diberikan pada diri kita. Shalawat serta salam tidak lupa kami kirimkan kepada Rasulullah Muhammad *shallallahu 'alaihi wasallam* sebagai khudwah terbaik sepanjang masa sebab atas perjuangan beliaulah sehingga kita masih bisa merasakan nikmatnya berislam sampai hari ini. Tidak lupa pula kita kirimkan kepada keluarga beliau, sahabat, sahabiyah, tab'in, atba'ut-tabi'in dan orang-orang yang selalu istiqamah di jalan addinul islam ini hingga qadar Allah berlaku atas diri mereka. Alhamdulillah, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **Deposisi Secara Redoks Nanopartikel MnO<sub>2</sub> pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi (*Oryza sativa*) dan Potensinya sebagai Material Elektoda Pseudokapasitor** sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar sarjana sains Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Pertama dari yang paling utama, melalui lembaran ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orangtua dan saudara-saudaraku yang terkasih, Ayahandaku **La Irama**, Ibundaku **Amria**, serta kakanda-kakandaku **Jumriati**, **Jumadin**, **Jahaluddin**, **Wa Ode Yusriati**, **La Ode Abdul Rizal** yang selalu mendukung, menyemangati, memotivasi, menasehati dan yang tiada henti memberikan doa terbaik sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas pengorbanan mereka dengan Jannah-Nya.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Bapak **Dr. Muhammad Zakir, M.Si** selaku Pembimbing Utama dan Bapak **Dr. Maming, M.Si** selaku Pembimbing Pertama, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan memberikan ilmu yang begitu berharga serta ucapan maaf atas segala kesalahan selama persiapan penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai. Ucapan terima kasih juga kepada:

1. Ketua dan Sekretaris Departemen Kimia, **Dr. Indah Raya, M.Si** dan **Dr. Muhammad Zakir, M.Si**, seluruh Dosen yang telah membagi ilmunya serta staf Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin. Terima kasih bantuan dan kerjasamanya.
2. Tim Penguji Ujian Sarjana Kimia, **Prof. Dr. Ahyar Ahmad, Dr. Firdaus, MS**, dan **Drs. L. Musa Ramang, M.Si** Terima kasih atas bimbingan dan saran-saran yang diberikan.
3. Bapak **Ir. Abdul Hayat Kasim, MT** dan **Drs. Fredryk W. Mandey, M.Si** selaku Penasehat Akademik. Terima kasih telah memberikan nasehat dan bimbingan selama mengikuti proses perkuliahan di Jurusan Kimia.
4. **Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (Dikti)**. Terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan beasiswa Bidik Misi yang telah diberikan selama  $\pm$  4 tahun.
5. Seluruh analis laboratorium: **Pak Sugeng, Kak Fiby, Kak Linda, Ibu Tini, Kak Anti, Pak Iqbal, kak Hanna**, dan **kak Heryanto**. Terima kasih atas bantuan yang diberikan selama penelitian.
6. Kawan-kawanku tercinta **TITRASI 2013**. Terima kasih atas semua dukungan, semangat dan persahabatan yang telah kalian berikan selama ini.
7. Teman-teman **Pengurus Mushalla Ulul Abshaar Kimia FMIPA Unhas (Maya Ulfa, Nur Atisah, Fitriani, Ayu Puspitasari, dan Triana Febrianti)**

terima kasih atas dukungan do'a, nasihat dan semangat dakwah, dan kebersamaannya di jalan dakwah.

8. Seluruh warga dan alumni **KMK FMIPA Unhas**. HMK tempat kita dibina, HMK tempat kita ditempa.
9. Kakak-kakak, adik-adik, serta alumni **KM FMIPA Unhas**. *Salam Use Your Mind Be The Best*.
10. Halaqah Tarbiyah dan Tahsin: **Hikma, Santri, Suci, Mun, Ody, Riska, Ifa, Emmi, Sarifah, Ani, Tisa, Fitri, Ita, Ana**. Terima kasih atas bekal ilmu akhirat yang begitu berharga dan kebersamaan selama bermajelis ilmu.
11. KKN Gel. 93 Kabupaten Enrekang, Kecamatan Alla, Posko Bolang Bersatu: **Firman, kak Rifky, kak Icang, Anhy, Lia, Risma**. Terima kasih atas kebersamaan dan pengalaman berharga selama di lokasi KKN.
12. Teman-temanku Al-Khaer crew; **Wa Ode Baharaeni, Sitti Muharani**, dan **Dita Destiah**. Terima kasih telah menemani baik suka maupun duka, memberi dukungan, serta pengalaman yang tak terlupakan.
13. Teman-temanku **LEVIOSA SMAN 2 BAUBAU**. Terima kasih atas motivasi dan pengalaman berharga selama di bangku SMA.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak. Akhirnya, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para peneliti selanjutnya dalam bidang Kimia Fisika khususnya material penyimpan energi elektrokimia.

Makassar, April 2017

Penulis

## ABSTRAK

Deposisi secara redoks nanopartikel  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*) untuk meningkatkan nilai kapasitansi telah dilakukan. Karbon aktif sekam padi dibuat melalui dua tahap, yaitu karbonisasi dan aktivasi kimia dengan  $\text{ZnCl}_2$ . Luas permukaan karbon sebelum dan sesudah aktivasi yang diperoleh dengan metode metilen biru yaitu  $45,1225 \text{ m}^2/\text{g}$  dan  $101,0895 \text{ m}^2/\text{g}$ . Deposisi  $\text{MnO}_2$  dilakukan dengan mereaksikan  $\text{KMnO}_4$  dan karbon aktif menggunakan variasi massa karbon, konsentrasi  $\text{KMnO}_4$ , suhu, dan pH. Hasil analisis XRD dan XRF menunjukkan bahwa  $\text{MnO}_2$  berhasil dideposisi pada permukaan karbon (kecuali karbon pada variasi massa 0,4 g) yang ditandai dengan terbentuknya puncak baru pada  $2\theta$  sekitar  $37^\circ$  dan  $65^\circ$  serta peningkatan kadar MnO pada karbon aktif. Hasil analisis dengan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa  $\text{MnO}_2$  yang terbentuk sebagian terdispersi ke larutan yang ditandai dengan adanya serapan yang dimulai pada daerah *visible* dan maksimum pada daerah UV (205-215 nm) kecuali karbon yang terdeposisi pada suasana asam terbentuk spesi  $\text{Mn}_3\text{O}_4^{4+}$  yang terlarut dalam filtrat. Deposisi  $\text{MnO}_2$  paling efektif dilakukan dengan mereaksikan 0,6 g karbon dengan  $\text{KMnO}_4$  0,05 M pada suhu  $95^\circ\text{C}$  dalam suasana basa. Hasil pengukuran kapasitansi spesifik dengan metode *cyclic voltammetry* menunjukkan bahwa  $\text{MnO}_2$  memiliki efek pseudokapasitif yang sangat baik sebab mampu meningkatkan nilai kapasitansi spesifik hingga 2000 kali dengan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif sebelum deposisi sebesar  $0,0106 \text{ mF/g}$ .

Kata kunci: deposisi, kapasitansi spesifik, karbon aktif sekam padi,  $\text{MnO}_2$ , reaksi redoks.



## ABSTRACT

The redox deposition of MnO<sub>2</sub> nanoparticles on the surface of rice husk (*Oryza sativa*) activated carbon aimed to increase the value of specific capacitance was carried out. Activated carbon was made through two steps, namely carbonization and chemical activation with ZnCl<sub>2</sub>. The surface area of the rice husk Carbon before and after activation obtained by methylene blue method were 45,1225 m<sup>2</sup>/g and 101,0895 m<sup>2</sup>/g. Deposition of MnO<sub>2</sub> was done by reacting KMnO<sub>4</sub> and activated carbon using carbon mass variation, KMnO<sub>4</sub> concentration, temperature, and pH. The results of XRD and XRF analysis show that MnO<sub>2</sub> successfully deposited on the surface of carbon (except carbon at 0.4 g mass variation) characterized by the formation of new peaks at 2θ around 37° and 65°. The results of the analysis with UV-Vis spectrophotometer showed that MnO<sub>2</sub> was partially dispersed into solution characterized by absorption starting at the visible and maximum at UV region (205-215 nm) except carbon deposited at the acidic solution there was Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub><sup>4+</sup> Which dissolves in the filtrate. Deposition of MnO<sub>2</sub> was most effectively by reacting 0.6 g of carbon with KMnO<sub>4</sub> 0.05 M at 95 °C in alkaline solution. The result of specific capacitance measurement by cyclic voltammetry method shows that MnO<sub>2</sub> has excellent pseudocapacitance effect because it can increase specific capacitance value up to 2000 times with specific capacitance value before MnO<sub>2</sub> deposition was 0,0106 mF/g.

Keywords: deposition, rice husk activated carbon, specific capacitance, MnO<sub>2</sub>, redox reaction.

## DAFTAR ISI

|   | <b>Halaman</b> |
|---|----------------|
| PRAKATA.....  | v              |
| ABSTRAK.....  | viii           |
| ABSTRACT.....   | ix             |
| DAFTAR ISI.....   | x              |
| DAFTAR GAMBAR.....  | xiii           |
| DAFTAR TABEL.....   | xv             |
| DAFTAR LAMPIRAN.....  | xvi            |
| DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....  | xvii           |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>   | <b>1</b>       |
| 1.1 Latar Belakang.....   | 1              |
| 1.2 Rumusan Masalah.....  | 4              |
| 1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....                                   | 4              |
| 1.3.1 Maksud Penelitian.....  | 4              |
| 1.3.2 Tujuan Penelitian.....  | 5              |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....   | 5              |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                     | <b>6</b>       |
| 2.1 Penyimpanan Energi Elektrokimia (EES).....                          | 6              |
| 2.2 Kapasitor Elektrokimia.....   | 6              |
| 2.3 Karbon Aktif.....   | 8              |
| 2.4 Sekam padi ( <i>Oryza sativa</i> ) sebagai Sumber Karbon Aktif..... | 11             |
| 2.5 MnO <sub>2</sub> sebagai senyawa pseudokapasitif.....               | 14             |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>                                   | <b>20</b>      |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.1 Bahan Penelitian .....  | 19        |
| 3.2 Alat Penelitian.....  | 19        |
| 3.3 Waktu dan Tempat Penelitian .....   | 19        |
| 3.4 Prosedur Penelitian .....   | 20        |
| 3.4.1 Preparasi Sampel.....   | 20        |
| 3.4.2 Karbonisasi .....   | 20        |
| 3.4.3 Aktivasi .....  | 20        |
| 3.4.4 Penentuan Luas Permukaan .....  | 20        |
| 3.4.5 Deposisi Redoks Nanopartikel MnO <sub>2</sub> pada Permukaan KASP .....               | 21        |
| 3.4.5.1 Pengaruh Massa Karbon Aktif terhadap Deposisi MnO <sub>2</sub> .....                | 22        |
| 3.4.5.2 Pengaruh Konsentrasi KMnO <sub>4</sub> terhadap Deposisi MnO <sub>2</sub> .....     | 22        |
| 3.4.5.3 Pengaruh Suhu terhadap Deposisi MnO <sub>2</sub> .....                              | 22        |
| 3.4.5.4 Pengaruh pH terhadap Deposisi MnO <sub>2</sub> .....                                | 23        |
| 3.4.6 Pembuatan Elektroda .....   | 23        |
| 3.4.7 Pengukuran Nilai Kapasitansi Spesifik.....  | 24        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  | <b>25</b> |
| 4.1 Pembuatan Karbon Sekam Padi.....  | 25        |
| 4.2 Aktivasi .....  | 26        |
| 4.3 Penentuan Luas Permukaan .....  | 27        |
| 4.4 Deposisi MnO <sub>2</sub> pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi.....                   | 28        |
| 4.4.1 Pengaruh Massa Karbon Aktif terhadap deposisi MnO <sub>2</sub> .....                  | 29        |
| 4.4.2 Pengaruh Konsentrasi KMnO <sub>4</sub> Aktif terhadap deposisi MnO <sub>2</sub> ..... | 36        |
| 4.4.3 Pengaruh Suhu terhadap deposisi MnO <sub>2</sub> .....                                | 41        |
| 4.4.4 Pengaruh pH terhadap deposisi MnO <sub>2</sub> .....                                  | 46        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>53</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 53        |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 5.2 Saran .....             | 53 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> ..... | 54 |
| <b>LAMPIRAN</b> .....       | 59 |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar  | halaman |
|---|---------|
| 1. Skema kapasitor elektrokimia .....   | 7       |
| 2. Mekanisme pembentukan lapisan ganda listrik ( <i>electrical double layer</i> ) .....   | 8       |
| 3. Struktur karbon amorf .....  | 9       |
| 4. Struktur pori karbon aktif granular dan fibrous .....  | 9       |
| 5. Proses adsorpsi adsorbat pada permukaan karbon aktif.....  | 10      |
| 6. Sekam padi .....   | 13      |
| 7. Penampang karbon aktif sekam padi hasil uji SEM yang dikarbonisasi pada suhu 400 °C dan 300 °C dengan dan tanpa aktivasi ZnCl <sub>2</sub> .....   | 14      |
| 8. Mekanisme deposisi senyawa elektroaktif pada permukaan elektroda kapasitor yang terbuat dari karbon aktif dan karbon nanotube .....  | 15      |
| 9. Penampang permukaan karbon tanpa dan dengan deposisi MnO <sub>2</sub> .....  | 18      |
| 10. Kurva kalibrasi deret standar metilen biru .....  | 28      |
| 11. Difraktogram KASP (a), KASP 0,4 g/MnO <sub>2</sub> (b), KASP 0,6 g/MnO <sub>2</sub> (c), KASP 0,8 g/MnO <sub>2</sub> (d).....   | 31      |
| 12. Spektrum UV-Vis larutan KMnO <sub>4</sub> dan filtrat hasil reduksi KMnO <sub>4</sub> oleh KASP dengan massa 0,4 g, 0,6 g, dan 0,8 g .....  | 33      |
| 13. Voltammogram KASP (a), KASP 0,4 g/MnO <sub>2</sub> (b), KASP 0,6 g/MnO <sub>2</sub> (c), KASP 0,8 g/MnO <sub>2</sub> (d).....   | 34      |
| 14. Difraktogram KASP (a), KASP/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,02 M) (b), KASP /MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,05 M) (c), KASP/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,02 M) (d)..... | 37      |
| 15. Spektrum UV-Vis larutan KMnO <sub>4</sub> dan filtrat hasil reduksi KMnO <sub>4</sub> dengan konsentrasi 0,02 M, 0,05 M, dan 0,08 M oleh KASP .....   | 39      |

|   |    |
|---|----|
| 16. Voltammogram KASP (a), KASP/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,02 M) (b), KASP /MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,05 M) (c), KASP/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,02 M) (d)..... | 40 |
| 17. Difraktogram KASP (a), KASP/MnO <sub>2</sub> (65 °C) (b), KASP/MnO <sub>2</sub> (80 °C) (c), KASP/MnO <sub>2</sub> (95 °C) (d) .....  | 42 |
| 18. Spektrum UV-Vis larutan KMnO <sub>4</sub> dan filtrat hasil reduksi KMnO <sub>4</sub> oleh KASP pada suhu 65 °C, 80 °C, dan 95 °C.....  | 44 |
| 19. Voltammogram KASP (a), KASP/MnO <sub>2</sub> (65 °C) (b), KASP/MnO <sub>2</sub> (80 °C) (c), KASP/MnO <sub>2</sub> (95 °C) (d) .....  | 45 |
| 20. Difraktogram KASP (a), KASP/MnO <sub>2</sub> (asam) (b), KASP/MnO <sub>2</sub> (netral) (c), KASP/MnO <sub>2</sub> (basa) (d) .....   | 47 |
| 21. Spektrum UV-Vis larutan KMnO <sub>4</sub> dan filtrat hasil reduksi KMnO <sub>4</sub> oleh KASP pada suasana asam, basa, dan netral .....   | 49 |
| 22. Struktur Tc(IV) polimerik (Tc <sub>n</sub> O <sub>p</sub> <sup>(4n-2p)+</sup> ).....  | 50 |
| 23. Filtrat hasil deposisi MnO <sub>2</sub> dalam suasana asam sebelum dan sesudah penambahan NaOH .....  | 50 |
| 24. Voltammogram KASP (a), KASP/MnO <sub>2</sub> (asam) (b), KASP/MnO <sub>2</sub> (netral) (c), KASP/MnO <sub>2</sub> (basa) (d) .....   | 51 |

## DAFTAR TABEL

| <b>Tabel</b>   | <b>halaman</b> |
|--|----------------|
| 1. Komposisi senyawa yang terkandung di dalam sekam padi.....  | 12             |
| 2. Nilai absorbansi deret standar metilen biru pada $\lambda_{\text{maks}}$ 660 nm .....   | 27             |
| 3. Data luas permukaan karbon.....   | 28             |
| 4. Komposisi senyawa oksida yang terkandung dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi menggunakan massa KASP yang berbeda .....                            | 32             |
| 5. Data cyclic voltammetry elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi $\text{MnO}_2$ menggunakan massa KASP yang berbeda .....                  | 35             |
| 6. Komposisi senyawa yang terkandung dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi menggunakan konsentrasi $\text{KMnO}_4$ yang berbeda ...                    | 38             |
| 7. Data cyclic voltammetry elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi $\text{MnO}_2$ menggunakan konsentrasi $\text{KMnO}_4$ yang berbeda ..... | 41             |
| 8. Komposisi senyawa yang terkandung dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi pada suhu yang berbeda .....  | 43             |
| 9. Data cyclic voltammetry elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi $\text{MnO}_2$ pada suhu yang berbeda .....                               | 46             |
| 10. Komposisi senyawa yang terkandung dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi pada suasana asam, basa, dan netral.....                                   | 48             |
| 11. Data cyclic voltammetry elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi $\text{MnO}_2$ pada suasana asam, basa, dan netral.....                  | 52             |

## DAFTAR LAMPIRAN

| <b>Lampiran</b>                                  | <b>halaman</b> |
|--|----------------|
| 1. Skema Prosedur Kerja.....                     | 59             |
| 2. Dokumentasi Kegiatan Penelitian .....         | 64             |
| 3. Perhitungan Luas Permukaan Karbon Aktif ..... | 66             |
| 4. Perhitungan Kapasitansi Spesifik.....         | 68             |
| 5. Perhitungan Ukuran Partikel .....             | 72             |
| 6. Data Hasil Karakterisasi XRD .....            | 75             |
| 7. Data Hasil Karakterisasi UV-Vis .....         | 88             |



## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

| <b>Simbol/Singkatan</b> | <b>Arti</b>                                   |
|-------------------------|---|
| Cs                      | Kapasitansi Spesifik                          |
| CV                      | <i>Cyclic Voltammetry</i>                     |
| CNT                     | <i>Carbon Nano Tube</i>                       |
| EES                     | <i>Electrochemical Energy Storage</i>         |
| EDLC                    | <i>Electrochemical Double Layer Capacitor</i> |
| GWh                     | <i>Giga Watt hour</i>                         |
| KASP                    | Karbon Aktif Sekam Padi                       |
| SEM                     | <i>Scanning Electron Microscopy</i>           |
| XRD                     | <i>X-Ray Diffraction</i>                      |
| XRF                     | <i>X-Ray Fluorescence</i>                     |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi ini, ilmu pengetahuan dan teknologi semakin berkembang pesat dari waktu ke waktu. Hal ini tentunya harus diimbangi dengan sumber energi yang memadai mengingat kebutuhan energi juga yang semakin meningkat (Chouhan dan Liu, 2012). Di Indonesia, konsumsi energi listrik meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan data statistik, energi listrik yang didistribusikan tahun 2011 hingga tahun 2014 mengalami peningkatan sebesar 45.921 GWh atau sekitar 28,94% (Badan Pusat Statistik, 2014).

Sampai saat ini, sumber energi utama di Indonesia masih bertumpu pada bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*) dan diprediksikan akan habis dalam beberapa dekade mendatang (Prastowo, 2007). Selain itu, penggunaannya dapat meningkatkan jumlah emisi gas CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub> di udara yang akan berdampak pada terjadinya pemanasan global dan hujan asam. Ditambah lagi, hasil pembakaran yang tidak sempurna dapat menghasilkan gas CO yang berbahaya bagi kesehatan (Achmad, 2004; Chouhan dan Liu, 2012). Oleh karena itu, dibutuhkan energi alternatif lain yang sifatnya dapat diperbaharui dan ramah lingkungan untuk memecahkan masalah tersebut.

Penyimpanan Energi elektrokimia merupakan salah satu energi alternatif yang perlu dipertimbangkan dalam menangani krisis energi dunia khususnya di Indonesia karena dapat digunakan secara berkelanjutan dan lebih ramah lingkungan. Penyimpanan energi elektrokimia (EES) terdiri dari baterai, sel bahan

bakar dan kapasitor elektrokimia. (International Electrotechnical Commission, 2011; Erdinc dkk., 2009; Winter dan Brodd, 2004).

Kapasitor elektrokimia merupakan salah satu alat penyimpanan energi yang lebih menjanjikan dibandingkan dengan baterai dan sel bahan bakar karena siklus penggunaannya yang lebih panjang (Frackowiak dan Beguin, 2001). Kapasitor elektrokimia menyimpan energi dengan cara membentuk lapisan ganda listrik (*Electric Double Layer*) melalui adsorpsi ion pada antarmuka antara elektroda dan elektrolit atau melalui reaksi redoks yang terjadi pada permukaan elektroda (Antonucci dan Antonucci, 2011; Winter dan Brodd, 2004).

Pada umumnya, material penyusun elektroda kapasitor terbuat dari karbon nanofiber (Lai dkk., 2015), karbon aerogel (Zhou dkk., 2008), CNT (Salunkhe dkk., 2015; Xu dkk., 2015), karbon mikropori (Daubert dkk., 2015), karbon mesopori (Wang dkk., 2013), dan sebagainya. Sintesis karbon-karbon tersebut membutuhkan bahan baku yang mahal dan tidak terbarui, serta proses preparasi yang lama sehingga memakan waktu dan biaya. Oleh karena itu dibutuhkan sumber karbon lain yang murah, terbarui, terdapat dalam jumlah yang banyak dan proses sintesis yang sederhana, misalnya limbah pertanian (Chen dkk., 2015).

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam hayati termasuk limbah pertanian yang mengandung karbon. Pembuatan kapasitor khususnya di Indonesia dengan memanfaatkan biomassa sebagai sumber karbon telah banyak dilakukan (Rosi dkk., 2012; Syarif, 2014; Zakir dkk., 2013). Salah satu limbah pertanian yang berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan elektroda kapasitor yaitu sekam padi. Di Indonesia, Padi merupakan tanaman pangan dengan produktivitas tertinggi tiap tahunnya. Produksi padi tahun 2015 diperkirakan mencapai 74,99 juta ton gabah kering giling (GKG), mengalami

kenaikan sebesar 4,15 juta ton atau sekitar 5,85% dibandingkan tahun 2014 (Badan Pusat Statistik, 2015). Sekam padi mengandung selulosa (31,12%), hemiselulosa (22,48%), dan lignin (22,34%) dengan jumlah yang cukup besar sehingga dapat digunakan sebagai sumber karbon aktif (Kumar dkk., 2010).

Indikator kemampuan penyimpanan energi yang tinggi pada suatu kapasitor ditentukan oleh nilai kapasitansi spesifiknya. Salah satu cara untuk meningkatkan nilai kapasitansi spesifik adalah dengan memanfaatkan efek pseudokapasitansi yang tergantung pada sifat fungsional permukaan karbon dengan adanya spesies elektroaktif seperti logam atau oksida logam transisi, nitrida atau senyawa polimer penghantar (*conducting polymers*) yang disisipkan (*deposited*) pada permukaan karbon aktif (Frackowiak dan Beguin, 2001; Zakir dkk., 2013).

Senyawa elektroaktif yang sampai saat ini memiliki kemampuan pseudokapasitif yang paling baik adalah rutenium oksida ( $\text{RuO}_2$ ). Kapasitansi yang dihasilkan dapat mencapai  $720 \text{ Fg}^{-1}$  hingga  $900 \text{ Fg}^{-1}$ . Akan tetapi aplikasinya terbatas pada keberadaannya yang sangat langka, harganya yang mahal, dan penggunaannya terbatas pada alat elektronik dengan tegangan rendah. Sehingga Saat ini sedang dikembangkan senyawa elektroaktif lain yang mudah diperoleh dan harganya murah salah satunya yaitu  $\text{MnO}_2$  (Augustyn dkk., 2014; Antonucci dan Antonucci, 2011; Frackowiak dan Beguin, 2001). Mangan dioksida ( $\text{MnO}_2$ ) dapat dideposisi secara langsung melalui reduksi  $\text{KMnO}_4$  menggunakan karbon aktif itu sendiri sebagai reduktor dalam suasana netral. Proses deposisi  $\text{MnO}_2$  ini sangat dipengaruhi oleh perbandingan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  dengan massa karbon yang digunakan (Zhang dkk., 2012). Selain itu, menurut Meng dkk. (2013) proses pembentukan  $\text{MnO}_2$  melalui reduksi  $\text{KMnO}_4$  juga sangat dipengaruhi oleh pH.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan elektroda kapasitor, baik yang terbuat dari polimer atau karbon ternyata memberikan efek pseudokapasitif yang cukup baik. Zhang dkk (2012) telah mendeposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon aktif komersial menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang jauh lebih tinggi ( $163,3 \text{ Fg}^{-1}$ ) dibandingkan dengan karbon aktif komersial tanpa  $\text{MnO}_2$  ( $84,3 \text{ Fg}^{-1}$ ). Selain itu, Meng dkk (2013) telah membuat elektroda kapasitor dari nanokomposit  $\text{MnO}_2$  dengan polimer polianilin dan ternyata juga memperoleh hasil yang serupa.

Berdasarkan hal tersebut, maka dalam penelitian ini akan dilakukan deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon aktif sekam padi untuk menghasilkan pseudokapasitor yang memiliki kemampuan penyimpanan energi yang lebih baik daripada sebelumnya. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi proses deposisi  $\text{MnO}_2$  diantaranya pengaruh massa karbon aktif, konsentrasi  $\text{KMnO}_4$ , suhu dan pH sehingga diperoleh nilai kapasitansi yang maksimum.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh massa karbon aktif, konsentrasi  $\text{KMnO}_4$ , suhu, dan pH terhadap proses deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*)?
2. Bagaimana pengaruh deposisi  $\text{MnO}_2$  terhadap nilai kapasitansi spesifik karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*)?

### **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

#### **1.3.1 Maksud Penelitian**

Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kapasitansi karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*) yang telah terdeposisi MnO<sub>2</sub>.

#### **1.3.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menentukan pengaruh massa karbon aktif, konsentrasi KMnO<sub>4</sub>, suhu, dan pH terhadap proses deposisi MnO<sub>2</sub> pada permukaan karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*).
2. Menentukan pengaruh deposisi MnO<sub>2</sub> terhadap nilai kapasitansi spesifik karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*).

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang:

1. Pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terhadap pembuatan karbon aktif sekam padi sebagai bahan penyimpanan energi elektrokimia khususnya superkapasitor.
2. Memberikan data karakteristik karbon aktif sekam padi sebagai bahan penyimpanan energi elektrokimia.
3. Salah satu cara deposisi senyawa elektroaktif pada permukaan karbon aktif untuk menghasilkan material elektroda pseudokapasitor.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penyimpanan Energi Elektrokimia**

Penyimpanan energi elektrokimia merupakan penyimpanan energi yang didasarkan pada terjadinya proses-proses kimiawi dalam suatu sistem yang terdiri dari elektrolit dan elektroda sebagai media penyimpanan energi. Proses kimiawi tersebut dapat berupa terjadinya transfer elektron melalui reaksi redoks atau adsorpsi ion pada antarmuka elektroda dan elektrolit menghasilkan lapisan ganda listrik (*Electrical Double Layer*). Sistem penyimpanan energi elektrokimia terdiri dari baterai, sel bahan bakar, dan kapasitor elektrokimia (superkapasitor) (Winter dan Brodd, 2004).

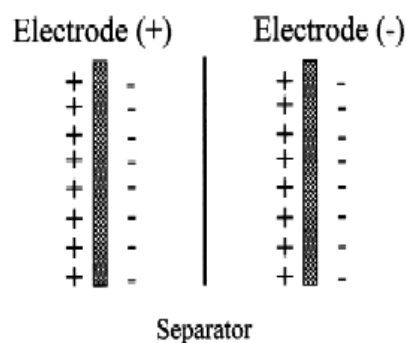
Pada baterai dan sel bahan bakar, terjadi konversi energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi redoks yang terjadi pada elektroda yang terdiri dari anoda dan katoda. Sedangkan pada kapasitor, energi listrik disimpan melalui pembentukan lapisan ganda listrik melalui adsorpsi ion pada antarmuka elektrolit dan elektroda. Akan tetapi ada jenis kapasitor elektrokimia yang di dalamnya juga terjadi reaksi redoks, kapasitor jenis ini dinamakan kapasitor redoks elektrokimia (*Redox Electrochemical Capacitor/Pseudocapacitor*) (Antonucci dan Antonucci, 2011; Winter dan Brodd, 2004).

#### **2.2 Kapasitor Elektrokimia**

Kapasitor Elektrokimia atau sering dikenal sebagai superkapasitor merupakan suatu teknologi yang telah dikenal selama 60 tahun. Biasa digunakan pada peralatan elektronik karena siklusnya yang hampir tak terbatas, kerapatan daya yang tinggi, dan kemampuan penyimpanan energi yang lebih besar

dibandingkan dengan kapasitor konvensional. Selain itu, kapasitansi dan kerapatan energinya masih dapat dikembangkan lagi karena desain yang fleksibel (International Electrotechnical Commission, 2011).

Kapasitor elektrokimia (superkapasitor), menyimpan energi melalui adsorpsi ion pada antarmuka elektroda yang terbuat dari material dengan luas permukaan yang besar (misalnya karbon) dan larutan elektrolit membentuk suatu lapisan ganda listrik atau melalui reaksi redoks yang terjadi pada permukaan elektroda (pseudokapasitor). Hal ini menyebabkan kapasitor mampu menggantikan baterai karena dapat menyimpan energi listrik dalam jumlah yang lebih besar. Saat ini sedang dikembangkan kapasitor dengan kinerja yang lebih baik melalui pengembangan nanomaterial sebagai bahan pseudokapasitif seperti oksida logam, nitrida, polimer seperti halnya pada elektroda baterai litium dengan struktur berukuran nano yang diharapkan mampu meningkatkan kerapatan energi pada kapasitor elektrokimia (Antonucci dan Antonucci, 2011; Miller dan Simon, 2008).



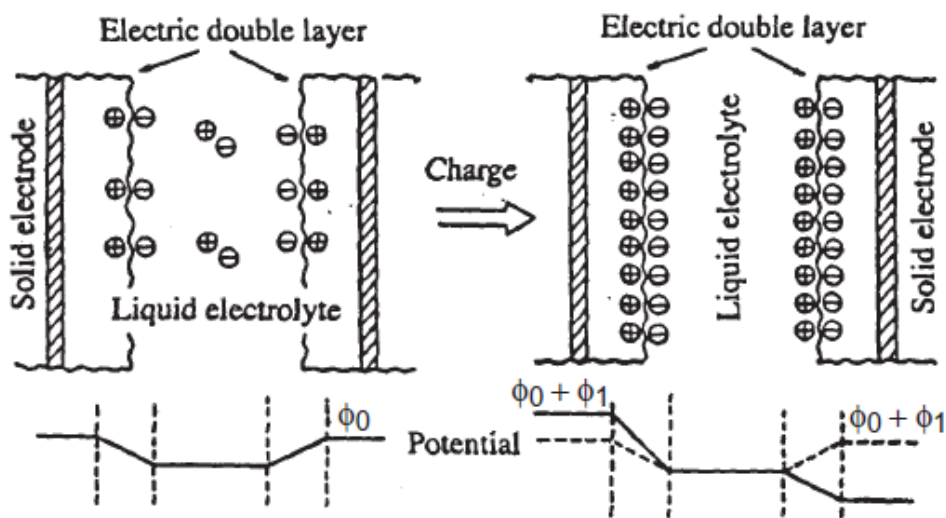
Gambar 1. Skema Kapasitor Elektrokimia (Frackowiak dan Beguin, 2001)

Pada kapasitor elektrokimia, muatan listrik dikumpulkan pada lapisan ganda (*double layer*) melalui gaya elektrostatis tanpa terjadinya perubahan fasa dari material elektroda. Penyimpanan energi listrik didasarkan pada pemisahan



jenis muatan pada sebuah lapisan ganda listrik disepanjang antarmuka elektroda dan elektrolit. Kapasitor elektrokimia memiliki satu elektroda positif yang kekurangan elektron dan satu elektroda negatif yang mengandung elektron. Kedua elektroda terbuat dari bahan yang sama. Besarnya energi listrik ( $W$ ) yang terakumulasi dalam kapasitor sebanding dengan kapasitansi ( $C$ ) dan tegangan ( $V$ ) sesuai persamaan berikut ini (Frackowiak dan Beguin, 2001):

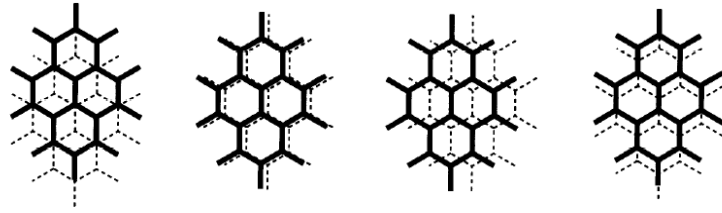
$$W = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1)$$



Gambar 2. Mekanisme Pembentukan Lapisan Ganda Listrik (*Electrical Double Layer*) (Manocha, 2003)

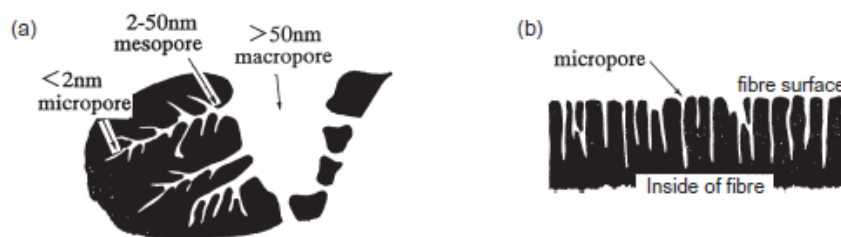
### 2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa karbon dengan struktur amorf, yang dapat diperoleh dari material-material yang mengandung karbon atau dari arang yang diberi perlakuan khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Karbon aktif memiliki luas permukaan berkisar antara 300-2000  $m^2/g$ . Karbon aktif dapat mengadsorpsi senyawa-senyawa kimia tertentu tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaannya (Jamilatun dan Setiawan, 2014; Ramdja dkk., 2008).



Gambar 3. Struktur Karbon Amorf (Tanaka dkk., 1997)

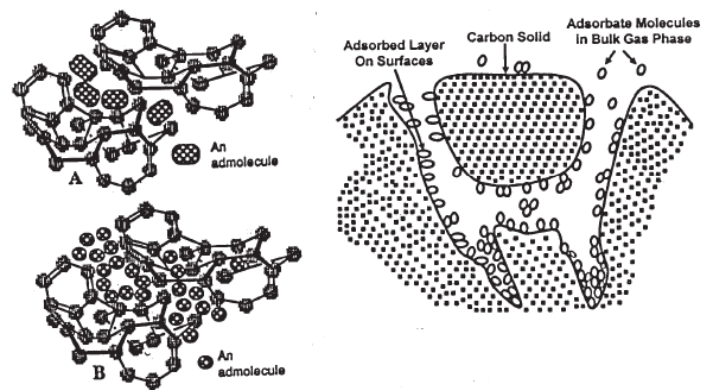
Karbon aktif biasanya diperoleh dari bahan baku yang mengandung senyawa organik kaya karbon menggunakan perlakuan termal dalam kondisi atmosfer inert dan selanjutnya secara selektif dioksidasi menjadi gas CO<sub>2</sub> dan uap air atau dengan penambahan senyawa kimia tertentu untuk meningkatkan volume pori dan luas permukaan. bahan baku yang digunakan dapat diperoleh dari alam seperti tempurung kelapa, kayu, resin atau material sintetik seperti polimer. Setelah proses aktivasi, struktur pori akan terbentuk di dalam partikel karbon. Karbon aktif memiliki beberapa ukuran dan jenis pori yaitu mikropori (<2 nm), mesopori (2-50 nm), makropori (>50 nm). Ukuran pori rata-rata akan meningkat seiring meningkatnya waktu aktivasi dan temperatur (Antonucci dan Antonucci, 2011).



Gambar 4. Struktur Pori Karbon Aktif Granular (a) dan Fibrous (b) (Manocha, 2003)

Karbon aktif biasanya dikarakterisasi berdasarkan besarnya kapasitas adsorpsinya. Kapasitas adsorpsi bergantung pada ukuran atau jenis pori dan luas permukaan total untuk berlangsungnya proses adsorpsi tersebut. Nilai kapasitas adsorpsi karbon aktif berkisar antara 0,6-0,8 cm<sup>3</sup>/g yang kebanyakan terjadi pada

bagian pori karbon aktif terkecil (mikropori). Adsorpsi merupakan proses dinamis dimana terjadi proses transfer molekul adsorbat dari fasa cair (pelarut) menuju permukaan fasa padat (adsorben) tanpa penetrasi. Hal ini terjadi karena adanya ketidakseimbangan gaya pada permukaan molekul adsorben sehingga mudah sekali menarik molekul lain disekitarnya, hingga tercapai keseimbangan gaya (Ramdja dkk, 2008; Manocha, 2003).



Gambar 5. Proses Adsorpsi Adsorbat pada Permukaan Karbon Aktif (Manocha, 2003)

Secara umum, pembuatan karbon aktif terdiri dari 3 tahap yaitu proses dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi (Ramdja dkk., 2008).

#### 1. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses penghilangan air pada bahan baku karbon aktif melalui pemanasan hingga temperatur 110 °C.

#### 2. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses pembakaran bahan baku menggunakan udara terbatas pada suhu antara 300 °C-900 °C sesuai dengan tingkat kekerasan bahan baku yang digunakan. Proses ini menyebabkan terjadinya penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk metanol, uap asam asetat, tar, dan hidrokarbon. Proses karbonisasi ini menghasilkan karbon dalam bentuk arang dengan permukaan spesifik yang sempit.

### 3. Aktivasi

Proses aktivasi material karbon dibagi menjadi 2 yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia.

#### a. Aktivasi Fisika

Pada proses aktivasi fisika, biasanya karbon dipanaskan di dalam tanur pada temperatur 800-900 °C. Beberapa bahan baku lebih mudah untuk diaktivasi jika diklorinasi terlebih dahulu. Selanjutnya dikarbonisasi untuk menghilangkan hidrokarbon yang terklorinasi dan akhirnya diaktivasi dengan uap.

#### b. Aktivasi Kimia

Proses aktivasi kimia, karbon hasil karbonisasi diaktivasi menggunakan bahan-bahan kimia atau reagen pengaktif. Bahan kimia yang digunakan dapat berupa asam, basa, atau garam misalnya  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{ZnCl}_2$ , dan sebagainya. Zat-zat ini mengaktivasi karbon dengan cara masuk diantara plat heksagon dari kristalit dan memisahkan permukaan yang mula-mula tertutup. Dengan demikian, saat pemanasan dilakukan, senyawa kontaminan yang berada dalam pori menjadi lebih mudah terlepas. Hal ini menyebabkan luas permukaan yang aktif bertambah besar dan meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif.

### **2.4 Sekam Padi (*Oryza sativa*) sebagai Sumber Karbon Aktif**

Tanaman padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman pangan yang dijadikan sebagai makanan pokok yang umumnya dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Hampir separuh penduduk dunia, terutama di Asia menggantungkan hidupnya pada tanaman padi. Begitu pentingnya arti padi sehingga kegagalan panen dapat mengakibatkan gejala sosial (Supartha dkk., 2012).

Sekitar 20% dari tanaman padi merupakan sekam padi. Sekam padi adalah bagian terluar dari butir padi yang merupakan hasil samping dari proses penggilingan padi (Ummah dkk., 2010). Sekam padi ini mengandung berbagai jenis senyawa karbohidrat seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin serta mineral-mineral dalam bentuk oksida dan air. Adapun kadar untuk masing-masing senyawa tersebut dalam sekam padi ditunjukkan oleh tabel berikut (Kumar dkk., 2010):

Tabel 1. Komposisi senyawa yang terkandung di dalam sekam padi

| <b>Senyawa</b>                    | <b>Kadar (%)</b> |
|-----------------------------------|------------------|
| Selulosa                          | 31,12            |
| Hemiselulosa                      | 22,48            |
| Lignin                            | 22,34            |
| Abu Mineral                       | 13,87            |
| Air                               | 7,86             |
| <i>Extractives</i>                | 2,33             |
| <b>Analisis kimia abu mineral</b> |                  |
| SiO <sub>2</sub>                  | 93,19            |
| K <sub>2</sub> O                  | 3,84             |
| MgO                               | 0,87             |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>    | 0,78             |
| CaO                               | 0,74             |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>    | 0,58             |

Berdasarkan data dari tabel di atas, kandungan senyawa lignoselulosa (lignin, selulosa, dan hemiselulosa) dari sekam padi cukup besar. Sehingga, sekam padi berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif (Mahvi dkk., 2004). Karbon yang bersumber dari sekam padi memiliki

karakteristik antara lain memiliki ukuran partikel sekitar 40-200 mesh, densitas sebesar 1,48 g/mL dengan luas permukaan kira-kira 320,9 m<sup>2</sup>/g (Kumar dkk., 2010).



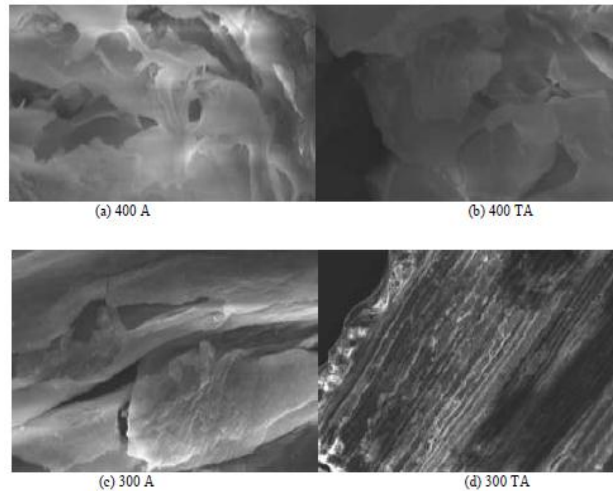
Gambar 6. Sekam Padi (Andhika, 2015)

Menurut Tjitrosoepomo (2011), klasifikasi tanaman padi adalah sebagai berikut:

Regum : Plantae  
Divisi : Spermatophyta  
Classis : Monocotiledoneae  
Ordo : Poales  
Family : Poaceae  
Genus : *Oryza*  
Spesies : *Oryza sativa*

Luas permukaan merupakan indikator penentu kualitas karbon aktif. Semakin besar luas permukaan karbon maka semakin bagus pula kemampuan adsorpsinya. Berdasarkan hasil penelitian Zakir (2013), luas permukaan karbon dapat dipengaruhi oleh suhu karbonisasi dan aktivasi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa karbon sekam padi yang dikarbonisasi pada suhu 400 °C luas permukaannya lebih besar dibanding karbon yang dikarbonisasi pada suhu 300 °C. Begitupun untuk karbon sekam padi yang diaktivasi dengan ZnCl<sub>2</sub> juga

memiliki luas permukaan yang lebih besar daripada karbon tanpa proses aktivasi. Hal ini dapat dilihat secara langsung melalui hasil uji SEM yang ditunjukkan pada gambar berikut ini:



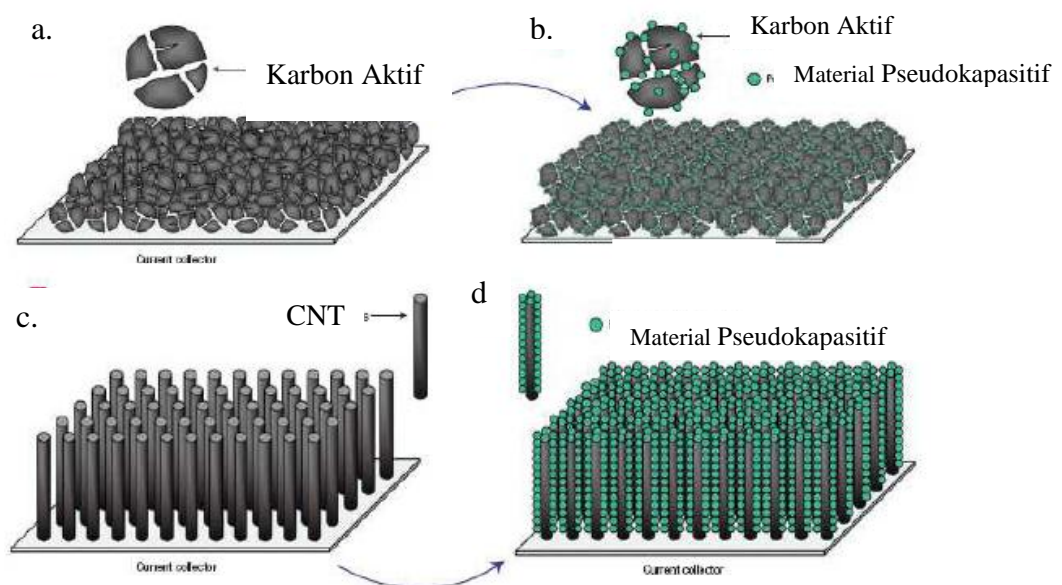
Gambar 7. Penampang permukaan karbon sekam padi hasil uji SEM yang dikarbonisasi pada suhu 400 °C (a,b) dan 300 °C (c,d) dengan dan tanpa aktivasi ZnCl<sub>2</sub> (Zakir, 2013)

## 2.6 Mangan Dioksida (MnO<sub>2</sub>) sebagai Senyawa Pseudokapasitif

Superkapasitor atau ultrakapasitor memiliki dua macam sistem penyimpanan energi yaitu berdasarkan atraksi elektrostatik seperti pada kapasitor EDLC (*Electrochemical Double Layer Capacitor*) dan sistem reaksi faraday (reaksi redoks) seperti yang terjadi pada akumulator. Sifat pseudokapasitansi muncul ketika terjadi perubahan secara termodinamik, muatan  $q$  yang diterima oleh elektroda secara berkelanjutan dapat mengubah fungsi dari potensial  $V$ . sehingga persamaan turunan  $C = dq/dV$  merujuk pada nilai kapasitansi yang muncul dari reaksi faraday tersebut. Kata “pseudo” bersumber dari kenyataan bahwa kapasitansi *double layer* muncul bukan hanya dari proses elektrostatik tetapi juga bersumber dari muatan yang dihasilkan oleh reaksi faraday (redoks). Efek pseudokapasitansi ini (pengikatan hidrogen atau logam melalui reaksi redoks oleh

spesies elektroaktif) sangat bergantung pada kemampuan dari material karbon penyusun elektroda dalam menyerap ion pada permukaannya (Frackowiak dan Beguin, 2001).

Pada pseudokapasitor (redoks superkapasitor), terjadi reaksi redoks yang sangat cepat pada permukaan elektroda saat proses pengisian berlangsung. Oksida logam transisi dan polimer konduktif elektron merupakan contoh material yang memiliki sifat pseudokapasitif. Ketika proses pengisian pseudokapasitor berlangsung, terjadi reduksi partikel pada permukaan elektroda sehingga senyawa elektroaktif bertambah. Sebagai contoh,  $MnO_2$  dan  $RuO_2$  yang disisipkan pada permukaan elektroda superkapasitor (misalnya karbon aktif, karbon nanotube, kolektor logam) menunjukkan nilai kapasitansi spesifik yang lebih tinggi dari  $1300 \text{ Fg}^{-1}$ . Telah diketahui bahwa sintesis elektroda yang terbuat dari material dengan luas permukaan yang tinggi dan mengandung material pseudokapasitif dapat meningkatkan kerapatan energi kapasitor (Antonucci dan Antonucci, 2011).



Gambar 8. Mekanisme deposisi senyawa elektroaktif pada permukaan elektroda kapasitor yang terbuat dari karbon aktif (a,b) dan karbon nanotube (c,d) (Antonucci dan Antonucci, 2011)



Senyawa elektroaktif yang sampai saat ini memiliki kemampuan pseudokapasitif yang paling baik adalah rutenium oksida ( $\text{RuO}_2$ ). Kapasitansi yang dihasilkan dapat mencapai  $720 \text{ Fg}^{-1}$  hingga  $900 \text{ Fg}^{-1}$ . Akan tetapi aplikasinya terbatas pada keberadaannya yang sangat langka, harganya yang mahal, dan penggunaannya terbatas pada alat elektronik dengan tegangan rendah. Sehingga Saat ini tengah dikembangkan senyawa elektroaktif lain yang mudah diperoleh dan harganya murah (misalnya oksida besi, vanadium, nikel, kobal, dan mangan). Oksida mangan merupakan salah satu senyawa elektroaktif yang sedang diteliti sifat pseudokapasitifnya (Augustyn dkk., 2014; Antonucci dan Antonucci, 2011; Frackowiak dan Beguin, 2001).

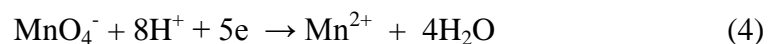
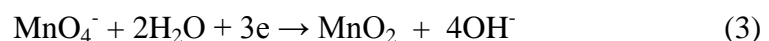
Secara umum, penyimpanan muatan  $\text{MnO}_2$  sebagai material pseudokapasitif dalam larutan elektrolit yaitu didasarkan pada terjadinya reaksi redoks yang menyebabkan perubahan bilangan oksidasi Mn dari +4 menjadi +3. Adapun mekanisme akumulasi muatan berdasarkan proses adsorpsi kation elektrolit ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ , dan sebagainya) yang terjadi pada permukaan elektroda berdasarkan persamaan reaksi dibawah ini (Augustyn dkk., 2014):



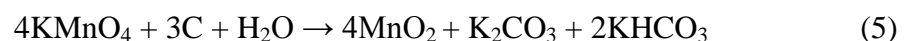
$\text{MnO}_2$  jumlahnya melimpah dan harganya murah dibanding  $\text{RuO}_2$  meskipun tidak memiliki daya konduktivitas elektronik yang tinggi dibanding  $\text{RuO}_2$  ( $104 \text{ S cm}^{-1}$  untuk kristal tunggal). Hal ini bergantung pada struktur kristal, konduktivitas  $\text{MnO}_2$  berkisar antara  $10^{-7}$  sampai  $10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ . Akibatnya, proses penyimpanan muatan pada  $\text{MnO}_2$  hanya terjadi dalam suatu lapisan tipis pada permukaan. Hal ini berarti bahwa nilai kapasitansinya akan lebih rendah secara signifikan dari nilai teoritis (Secara teori, 1 elektron yang dihasilkan dari reaksi

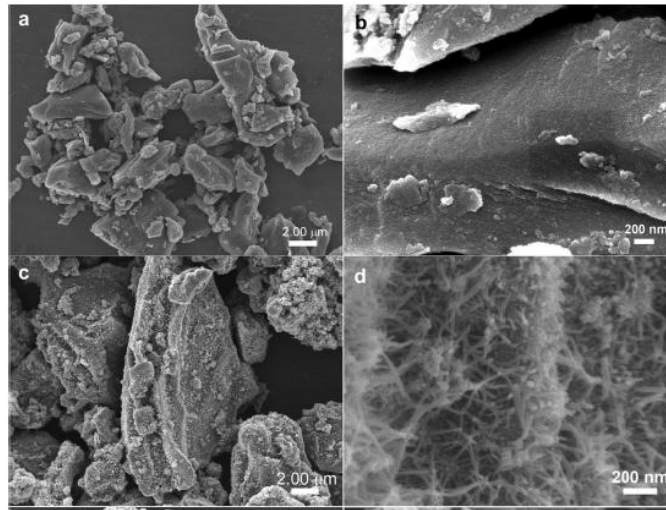
redoks ( $x = 1$ ) setara dengan nilai kapasitansi sebesar  $1233 \text{ Fg}^{-1}$  ( $1110 \text{ Cg}^{-1}$ ) diasumsikan tegangan jendela sebesar  $0.9 \text{ V}$ ) untuk elektroda berupa komposit yang tebal, dimana nilai kapasitansi spesifiknya hanya berkisar antara 200 hingga  $250 \text{ F g}^{-1}$  yang diperoleh ketika diukur dengan metode elektrokimia seperti siklik voltametri atau galvanostatik. Dilain pihak, jika elektroda terbuat dalam bentuk film  $\text{MnO}_2$  yang sangat tipis (*ultrathin film*  $\text{MnO}_2$ ) kemungkinan besar akan menghasilkan nilai kapasitansi spesifik mencapai  $>1000 \text{ F g}^{-1}$ . Perubahan material menjadi nanostruktur merupakan cara yang paling efektif dalam mengakses seluruh sisi kristal penyimpanan  $\text{MnO}_2$  (Augustyn dkk., 2014).

Mangan dioksida dapat dibuat dengan cara mereduksi ion permanganat ( $\text{MnO}_4^-$ ) dalam suasana basa atau netral. Cara ini merupakan cara yang sederhana dan membutuhkan biaya yang relatif murah. Selama prosedur tersebut, pH larutan memegang peranan utama dalam pembentukan produk akhir. Pada pH tinggi, produk utama yang terbentuk adalah  $\text{MnO}_2$  sedangkan pada pH rendah produk utamanya adalah  $\text{Mn}^{2+}$ . Adapun reaksinya pembentukan kedua spesies ini dapat dilihat melalui persamaan reaksi berikut (Meng dkk., 2013; Cotton and Wilkinson, 1980):



Zhang dkk (2012) melaporkan bahwa nanokomposit karbon aktif dan  $\text{MnO}_2$  dapat dibuat dengan cara mereduksi langsung larutan  $\text{KMnO}_4$  menggunakan karbon aktif itu sendiri sebagai reduktornya dalam suasana netral. Adapun reaksinya dapat dilihat pada persamaan reaksi berikut:





Gambar 9. Penampang permukaan karbon sebelum (a,b) dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  (c,d) (Zhang dkk., 2012)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sekam padi,  $\text{KMnO}_4$  (Merck), HCl 6 N, NaOH 6 N, larutan metilen biru 300 ppm, akuades, larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 M, HCl teknis, larutan  $\text{ZnCl}_2$  10% b/v, kawat tembaga, kawat platina, elektroda Ag/AgCl, elektroda Pt, parafin, parafilm, kertas saring Whatman nomor 42, aluminium foil, dan kertas pH universal.

#### **3.2 Alat Penelitian**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanur (*Muffle Furnace* tipe 6000), cawan porselin, pengaduk magnetik (Fisher tipe 115), ayakan ukuran 100 mesh, desikator, penangas air (hot plate), corong Buchner, alat gelas laboratorium, termometer, lumpang, neraca analitik (Shimadzu AW220), XRD (Shimadzu XRD-7000), XRF (ThermoFisherXRF), labu semprot plastik, pompa vakum (Vacuubrand tipe ME4C), oven (tipe SPNISOSFD), pengaduk magnetik (CERAMAG Midi), *Cyclic Voltammetry* (Aplikasi eDAQ ED410-159), dan Spektrometer UV-Vis 20 D<sup>+</sup> Shimadzu.

#### **3.3 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Desember 2016 – April 2017 di Laboratorium Kimia Fisika, Laboratorium Kimia Analitik, dan Laboratorium Kimia Terpadu Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

### **3.4 Prosedur Penelitian**

#### **3.4.1 Preparasi Sampel**

Sebelum dikarbonisasi, Sekam padi terlebih dahulu dicuci dengan air hingga bersih, lalu direndam dengan HCl teknis selama 1 jam, kemudian dicuci dengan akuades berulang-ulang sampai pH netral. Setelah itu, sekam padi tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 1 jam (Karyasa, 2014).

#### **3.4.2 Karbonisasi**

Sekam padi yang telah kering dan bebas dari kotoran kemudian dimasukkan ke dalam cawan porselen lalu dikarbonisasi dalam tanur pada suhu 350 °C selama 1 jam. Setelah itu, karbon sekam padi yang dihasilkan didinginkan dalam desikator, digerus, dan diayak menggunakan pengayak berukuran 100 mesh sehingga diperoleh karbon sekam padi yang ukuran partikelnya lebih kecil.

#### **3.4.3 Aktivasi**

Karbon yang diperoleh dari proses karbonisasi kemudian diaktivasi menggunakan ZnCl<sub>2</sub> 10%. Karbon ditambahkan larutan ZnCl<sub>2</sub> 10% lalu dihomogenkan. Wadah yang berisi campuran kemudian ditutup rapat menggunakan aluminium foil dan didiamkan selama 24 jam. Karbon yang dihasilkan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 110 °C lalu dibakar di dalam tanur pada suhu 350 °C selama 1 jam (Labanni' dkk., 2015; Danarto dan Samun, 2008).

#### **3.4.4 Penentuan Luas Permukaan**

Penentuan luas permukaan karbon aktif dihitung menggunakan metode Metilen Biru yaitu berdasarkan kemampuan karbon aktif mengadsorpsi metilen biru pada permukaannya. Sebanyak 0,3 gram karbon aktif dimasukkan ke dalam 50 mL larutan metilen biru 300 ppm kemudian distirer selama 30 menit. Setelah

itu, campuran disaring kemudian filtratnya diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum. Data absorbansi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung konsentrasi adsorbat yang tidak teradsorpsi oleh karbon aktif. Adapun larutan standar yang digunakan yaitu larutan metilen biru dengan konsentrasi 0,5; 1; 2; 4; 8; dan 16 ppm (Labanni' dkk., 2015).

Persamaan garis yang diperoleh dari kurva kalibrasi standar metilen biru digunakan untuk menghitung konsentrasi metilen biru setelah adsorpsi. Luas permukaan dari karbon dihitung menggunakan persamaan berikut (Andhika, 2015):

$$X_m = \frac{(C_o - C_e)}{g} \quad (7)$$

$$S = \frac{X_m \cdot N \cdot a}{M_r} \quad (8)$$

Dimana,  $X_m$  adalah berat adsorbat teradsorpsi (mg/g),  $C_o$  dan  $C_e$  masing-masing adalah konsentrasi awal dan konsentrasi akhir (ppm),  $V$  adalah volume metilen biru (L),  $g$  adalah massa karbon (g),  $N$  adalah bilangan Avogadro ( $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ),  $M_r$  adalah berat molekul metilen biru (320,5 g/mol),  $a$  adalah luas permukaan oleh 1 molekul metilen biru ( $197 \times 10^{-20} \text{ m}^2$ ) dan  $S$  adalah luas permukaan adsorben ( $\text{m}^2/\text{g}$ ).

#### **3.4.5 Deposisi redoks nanopartikel $\text{MnO}_2$ pada permukaan KASP**

Proses deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan KASP didasarkan pada reaksi redoks yang terjadi antara karbon aktif sekam padi dengan larutan  $\text{KMnO}_4$ . Untuk memaksimalkan proses deposisi, maka perlu diketahui beberapa faktor yang mempengaruhi reaksi tersebut diantaranya pengaruh massa karbon aktif, konsentrasi  $\text{KMnO}_4$ , pH, dan suhu.

#### **3.4.5.1 Pengaruh Massa Karbon Aktif terhadap Deposisi MnO<sub>2</sub>**

Sebanyak 0,4; 0,6; dan 0,8 gram karbon aktif sekam padi masing-masing dimasukkan ke dalam 100 mL KMnO<sub>4</sub> 0,05 M kemudian diaduk dengan magnetik stirrer sambil dipanaskan pada suhu 95 °C hingga warna ungu dari larutan KMnO<sub>4</sub> hilang. Campuran kemudian disaring, karbon yang diperoleh selanjutnya dicuci beberapa kali dengan akuades dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 12 jam, lalu dikarakterisasi dengan XRD dan XRF (Zhang dkk., 2012). Sedangkan filtrat dari hasil penyaringan pertama dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-700 nm untuk mengetahui jenis spesis yang masih terdapat dalam larutan.

#### **3.4.5.2 Pengaruh Konsentrasi KMnO<sub>4</sub> terhadap Deposisi MnO<sub>2</sub>**

Sebanyak 0,6 gram karbon aktif sekam padi dimasukkan ke dalam gelas kimia yang masing-masing berisi 100 mL KMnO<sub>4</sub> 0,025 M; 0,05 M; dan 0,1 M kemudian diaduk dengan magnetik stirrer sambil dipanaskan pada suhu 95 °C hingga warna ungu dari larutan KMnO<sub>4</sub> hilang. Campuran kemudian disaring, karbon yang diperoleh selanjutnya dicuci beberapa kali dengan akuades dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 12 jam, lalu dikarakterisasi dengan XRD dan XRF. Sedangkan filtrat dari hasil penyaringan pertama dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-700 nm untuk mengetahui jenis spesis yang masih terdapat dalam larutan.

#### **3.4.5.3 Pengaruh Suhu terhadap Deposisi MnO<sub>2</sub>**

Sebanyak 0,6 gram karbon aktif sekam padi dimasukkan ke dalam tiga gelas kimia yang masing-masing berisi 100 mL KMnO<sub>4</sub> 0,05 M kemudian diaduk dengan magnetik stirrer sambil dipanaskan pada suhu berturut-turut 65 °C; 80 °C; dan 95 °C hingga warna ungu dari larutan KMnO<sub>4</sub> hilang. Campuran kemudian

disaring, karbon yang diperoleh selanjutnya dicuci beberapa kali dengan akuades dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 12 jam, lalu dikarakterisasi dengan XRD dan XRF. Sedangkan filtrat dari hasil penyaringan pertama dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-700 nm untuk mengetahui jenis spesis yang masih terdapat dalam larutan.

#### **3.4.5.4 Pengaruh pH terhadap Deposisi MnO<sub>2</sub>**

Sebanyak 0,6 gram karbon aktif sekam padi dimasukkan ke dalam dua gelas kimia yang berbeda. Gelas kimia pertama ditambahkan 20 mL NaOH 6 N sedangkan gelas kimia kedua ditambahkan 20 mL HCl 6 N. kemudian, masing-masing gelas kimia ditambahkan 100 mL KMnO<sub>4</sub> 0,05 M. Setelah itu, campuran diaduk dengan magnetik stirrer sambil dipanaskan pada suhu 95 °C hingga warna ungu dari larutan KMnO<sub>4</sub> hilang. Campuran kemudian disaring, karbon yang diperoleh selanjutnya dicuci beberapa kali dengan akuades dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 12 jam, lalu dikarakterisasi dengan XRD dan XRF. Sedangkan filtrat dari hasil penyaringan pertama dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-700 nm untuk mengetahui jenis spesis yang masih terdapat dalam larutan.

#### **3.4.6 Pembuatan Elektroda**

Badan elektroda dibuat dengan cara menyambungkan kawat tembaga dan kawat platina menggunakan solder uap. Kemudian dimasukkan kedalam pipet yang selanjutnya direkatkan dengan parafilm. Karbon aktif sekam padi sebelum dan setelah deposisi MnO<sub>2</sub> dicampur dengan lilin paraffin dengan perbandingan 1:1 diaduk sampai homogen menggunakan spatula dalam cawan petri. Pasta karbon yang telah jadi dimasukkan ke dalam badan elektroda dengan cara ditekan menggunakan spatula agar memadat dan merata (Vytras dkk., 2009; Wachid dan Setiarso, 2014).



### 3.4.7 Pengukuran Nilai Kapasitansi Spesifik

Elektroda yang telah dibuat, diukur nilai kapasitansi spesifiknya dengan metode siklik voltametri menggunakan alat potensiostats EA161. Adapun tipe sel yang digunakan yaitu sistem tiga elektroda yang terdiri dari elektroda Ag/AgCl (elektroda pembanding), elektroda Pt (elektroda bantu) dan elektroda pasta karbon (elektroda kerja) dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M sebagai elektrolit. Pengukuran dilakukan dengan *scan rate* sebesar 100 mV/s sehingga diperoleh voltamogram antara tegangan dan arus. Kemudian nilai kapasitansi spesifik dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Ramli, 2015):

$$C_s = \frac{I_c - I_d}{v \times m} \quad (9)$$

Dimana,

C<sub>s</sub> = Nilai kapasitansi spesifik (F/g)

I<sub>c</sub> = Arus *charge* (A)

I<sub>d</sub> = Arus *discharge* (A)

v = *Scanrate* (V/s)

m = Massa elektroda karbon aktif (g)

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pembuatan Karbon Sekam Padi**

Pembuatan karbon dimulai dengan tahapan pengumpulan sampel sekam padi, penyiapan bahan dan karbonisasi. Sekam padi diambil dari Desa Gattareng, Kecamatan Marioriwawo, Kabupaten Soppeng.

Penyiapan bahan baku pembuatan karbon meliputi pencucian dan pengeringan. Pencucian dengan air berulang-ulang untuk menghilangkan kotoran berupa debu dan pasir yang menempel pada sekam serta pencucian dengan HCl teknis bertujuan untuk menurunkan kadar pengotor berupa oksida-oksida logam khususnya oksida mangan yang kemungkinan terdapat dalam sekam padi. Pengeringan dibawah sinar matahari dan dalam oven pada suhu 110 °C selama 1 jam bertujuan untuk menghilangkan air yang terdapat pada sekam padi (Andaka, 2008; Mujiyanti dkk., 2010).

Karbonisasi atau pengarangan adalah proses pembakaran bahan baku pada suhu tertentu sekitar 300-900 °C yang menyebabkan terjadinya dekomposisi senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk metanol, uap asam asetat, tar dan hidrokarbon. Pelepasan unsur-unsur volatil ini menyebabkan struktur pori-pori terbuka (Ramdja dkk., 2008; Surest dkk., 2008).

Proses karbonisasi sekam padi pada penelitian ini dilakukan dalam tanur pada suhu 350 °C selama 1 jam. Suhu ini merupakan suhu yang optimum untuk karbonisasi sekam padi karena suhu di bawah 350 °C proses karbonisasi belum sempurna, sedangkan suhu di atas 350 °C sudah mulai terjadi pengabuan. Karbon yang dihasilkan selanjutnya digerus dan diayak dengan ayakan ukuran 100 mesh

untuk menghasilkan karbon dengan ukuran partikel yang lebih kecil sehingga luas permukaan karbon yang diperoleh menjadi lebih besar.

## **4.2 Aktivasi**

Aktivasi bertujuan untuk mengaktifkan karbon dengan mengangkat residu-residu yang menutupi permukaan pori sehingga dihasilkan karbon dengan luas permukaan yang lebih besar (Aisah, 2010). Unsur-unsur mineral aktivator masuk diantara sela-sela lapisan karbon heksagonal dan memisahkan permukaan yang mula-mula tertutup. Dengan demikian, saat pemanasan dilakukan, senyawa kontaminan yang terdapat dalam pori menjadi lebih mudah terlepas. Hal ini menyebabkan luas permukaan karbon aktif bertambah besar (Koleangan dan Wuntu, 2008; Ramdja dkk., 2008).

Proses aktivasi terdiri dari dua jenis yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Pada penelitian ini digunakan  $ZnCl_2$  10 % sebagai aktivator pada proses aktivasi kimia sedangkan aktivasi fisika dilakukan melalui proses pemanasan dalam tanur pada suhu  $350\text{ }^{\circ}C$ .

Aktivasi karbon sekam padi dilakukan dengan mencampurkan 5 gram karbon dengan 25 mL larutan  $ZnCl_2$  10 % (perbandingan 1 : 5) kemudian direndam selama 24 jam. Perendaman dilakukan untuk memaksimalkan kontak antara karbon dengan aktivator sehingga residu-residu yang menutupi pori karbon akan terangkat sehingga pori-pori pada karbon akan terbuka. Semakin banyak pori yang terbentuk, maka akan semakin banyak ruang yang tersedia untuk penyimpanan muatan listrik berupa ion-ion elektrolit di dalam karbon aktif (Rosi dkk., 2013). Setelah direndam, karbon kemudian di bakar di dalam tanur pada suhu  $350\text{ }^{\circ}C$  selama 1 jam. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan

pengotor-pengotor yang kemungkinan masih menempel pada permukaan karbon melalui proses pemanasan.

### 4.3 Penentuan Luas Permukaan

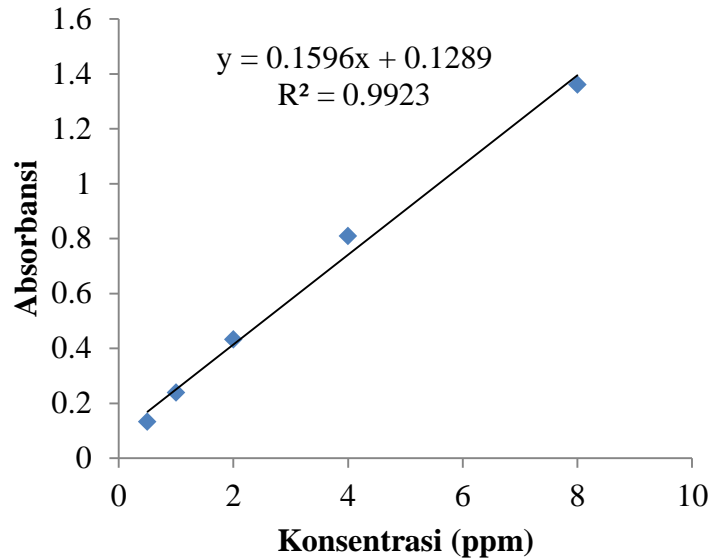
Penentuan luas permukaan karbon diukur berdasarkan kemampuan karbon dalam mengadsorpsi metilen biru. Banyaknya metilen biru yang teradsorpsi berbanding lurus dengan luas permukaan adsorben sesuai rumus pada Persamaan (8). Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan menggunakan larutan metilen biru 4 ppm yang diukur absorbansinya pada rentangan panjang gelombang 400-700 nm. Panjang gelombang maksimum yang diperoleh adalah 660 nm. Deret standar metilen biru dibuat berdasarkan absorbansi dari berbagai konsentrasi larutan standar metilen biru yaitu 0,5; 1, 2, 4, 8 dan 16 ppm pada panjang gelombang maksimum. Nilai absorbansi deret standar larutan metilen biru dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai absorbansi deret standar metilen biru pada  $\lambda_{\text{maks}}$  660 nm

| <b>Konsentrasi Metilen Biru (ppm)</b> | <b>Absorbansi</b> |
|---------------------------------------|-------------------|
| 0.5                                   | 0,132             |
| 1                                     | 0,238             |
| 2                                     | 0,432             |
| 4                                     | 0,809             |
| 8                                     | 1,360             |
| 16                                    | 1,560             |

Tabel 2 menunjukkan bahwa absorbansi meningkat seiring meningkatnya konsentrasi metilen biru. Hal ini sesuai dengan hukum Lambert-Beer bahwa jumlah sinar yang diserap berbanding lurus dengan konsentrasi zat. Dari data

absorbansi deret standar, kemudian dibuat kurva kalibrasi seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Kurva kalibrasi deret standar metilen biru

Nilai persamaan garis yang diperoleh pada kurva kalibrasi deret standar metilen biru digunakan untuk menghitung konsentrasi metilen biru setelah adsorpsi. Luas permukaan karbon dihitung menggunakan Persamaan (7) dan (8) sehingga diperoleh nilai luas permukaan seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Luas permukaan karbon sebelum dan sesudah aktivasi mengalami peningkatan yang cukup besar yaitu sekitar  $56 \text{ m}^2/\text{g}$ .

Tabel 3. Data luas permukaan karbon

| Sampel                  | Luas Permukaan ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) |
|-------------------------|--|
| Karbon sekam padi       | 45,1225                                  |
| Karbon aktif sekam padi | 101,0895                                 |

#### 4.4 Deposisi $\text{MnO}_2$ pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi

Peningkatan kapasitansi spesifik dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan efek pseudokapasitif spesies elektroaktif  $\text{MnO}_2$  pada permukaan

karbon aktif. Proses deposisi  $\text{MnO}_2$  didasarkan pada reaksi yang terjadi antara karbon dengan  $\text{KMnO}_4$  sesuai Persamaan reaksi (5). Pada reaksi ini terjadi reduksi  $\text{KMnO}_4$  oleh karbon menjadi  $\text{MnO}_2$  (Zhang, 2012).  $\text{MnO}_2$  yang dihasilkan sebagian akan terdeposisi pada permukaan karbon aktif yang ditandai dengan perubahan warna karbon dari hitam menjadi hitam kecoklatan (Zhang, 2012) dan sebagian terdispersi ke dalam larutan membentuk sistem koloid yang ditandai dengan perubahan warna larutan dari ungu (warna  $\text{KMnO}_4$ ) menjadi kuning hingga kuning kecoklatan (Moon dkk., 2014; Jaganyi dkk., 2013; Chacon-Patino dkk., 2013).

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi baik pada karbon aktif maupun pada filtrat sebelum dan sesudah deposisi tersebut. Karakterisasi pada karbon aktif dilakukan menggunakan XRD untuk mengetahui keberadaan  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon aktif serta ukuran partikelnya. Karakterisasi dengan XRF dilakukan untuk mengetahui secara langsung komposisi senyawa yang terkandung di dalam karbon aktif sebelum dan sesudah proses deposisi khususnya persentase senyawa oksida mangan dalam sampel. Filtrat dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-700 nm untuk mengetahui keberadaan  $\text{MnO}_2$  yang kemungkinan besar terdispersi dalam larutan.

Proses deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon aktif dipengaruhi oleh beberapa faktor. Sehingga, deposisi  $\text{MnO}_2$  dalam penelitian ini dilakukan dalam berbagai variasi diantaranya massa karbon aktif, konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang digunakan, suhu dan pH untuk memaksimalkan nilai kapasitansi yang diperoleh.

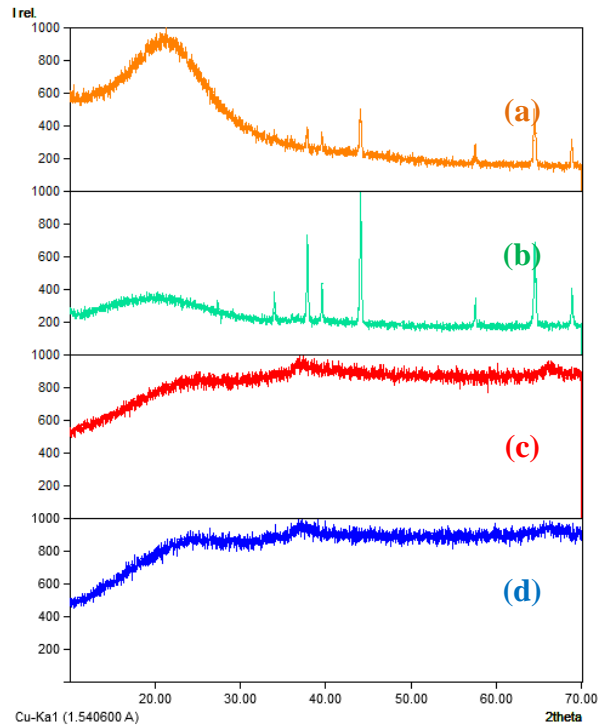
#### **4.4.1 Pengaruh Massa Karbon Aktif terhadap Deposisi $\text{MnO}_2$**

Proses deposisi  $\text{MnO}_2$  menggunakan massa karbon yang berbeda untuk mereduksi larutan  $\text{KMnO}_4$  dengan konsentrasi yang sama memberikan pengaruh

yang besar terhadap jumlah  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi pada permukaan karbon aktif (Zhang dkk., 2012). Variasi massa KASP yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0,4 g, 0,6 g, dan 0,8 g.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan pola difraksi yang sangat berbeda antara karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  (Gambar 11). Difraktogram untuk sampel karbon sebelum deposisi  $\text{MnO}_2$  menunjukkan adanya satu puncak lebar pada  $2\theta$  yang dimulai dari  $13,85^\circ$  dan optimum pada  $20,81^\circ$  kemudian berakhir pada  $29,88^\circ$  yang merupakan karakteristik dari struktur amorf karbon aktif sekam padi yang bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nashrullah dan Darminto (2013). Sedangkan sampel karbon setelah deposisi  $\text{MnO}_2$  khususnya karbon dengan massa 0,6 g dan 0,8 g terbentuk 2 puncak baru pada  $2\theta$  sekitar  $37^\circ$  dan  $65^\circ$  yang mengindikasikan adanya  $\text{MnO}_2$  bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Viscarini dkk (2014). Untuk sampel karbon 0,6 g menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$   $36,76^\circ$  dan  $64,90^\circ$  dengan ukuran partikel  $\text{MnO}_2$  sekitar 14,0101 nm yang dihitung menggunakan persamaan *Debye Schereer*. Untuk sampel karbon 0,8 g menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$   $36,98^\circ$  dan  $65,5^\circ$  dengan ukuran partikel  $\text{MnO}_2$  sekitar 23,1076 nm. Perbedaan ukuran partikel dapat disebabkan karena distribusi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon yang tidak merata dan terjadinya aglomerasi (penumpukan)  $\text{MnO}_2$  sehingga ukurannya menjadi lebih besar. Khusus sampel karbon dengan massa 0,4 g tidak menghasilkan puncak baru, tetapi hanya terjadi penurunan puncak amorf karbon yang telah ada sebelumnya. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak ada  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi pada permukaan karbon aktif dan penurunan intensitas puncak disebabkan oleh penambahan senyawa oksida lain pada KASP seperti ZnO dan  $\text{K}_2\text{O}$  sehingga komposisinya berubah. Hal ini didukung oleh data hasil karakterisasi dengan XRF (Tabel 4). Ketidakmampuan karbon dalam

mengadsorpsi  $\text{MnO}_2$  dapat disebabkan oleh karbon yang tersedia hanya sedikit sehingga pori-pori yang tersedia untuk menjerap  $\text{MnO}_2$  juga sangat kecil.



Gambar 11. Difraktogram KASP (a), KASP 0,4 g/ $\text{MnO}_2$  (b), KASP 0,6 g/ $\text{MnO}_2$  (c), dan KASP 0,8 g/ $\text{MnO}_2$  (d)

Hasil karakterisasi XRF sebelum dan sesudah deposisi menunjukkan adanya perbedaan komposisi senyawa oksida khususnya  $\text{SiO}_2$  yang merupakan senyawa oksida utama yang terkandung di dalam KASP dan mangan oksida yang merupakan senyawa yang akan dideposisi pada permukaan karbon. Sebelum deposisi kadar  $\text{SiO}_2$  mencapai 92,5 % sedangkan mangan oksida belum terdapat dalam sampel KASP. Setelah deposisi, terjadi penurunan kadar yang sangat signifikan pada  $\text{SiO}_2$  dan MnO mulai muncul dengan kadar yang cukup tinggi kecuali pada karbon dengan massa 0,4 g. Penurunan kadar  $\text{SiO}_2$  disebabkan karena masuknya oksida mangan yang mengakibatkan perubahan komposisi senyawa oksida pada karbon aktif sekam padi sehingga persentasenya juga berubah. Untuk sampel dengan massa 0,6 g dan 0,8 g kadar MnO yang diperoleh



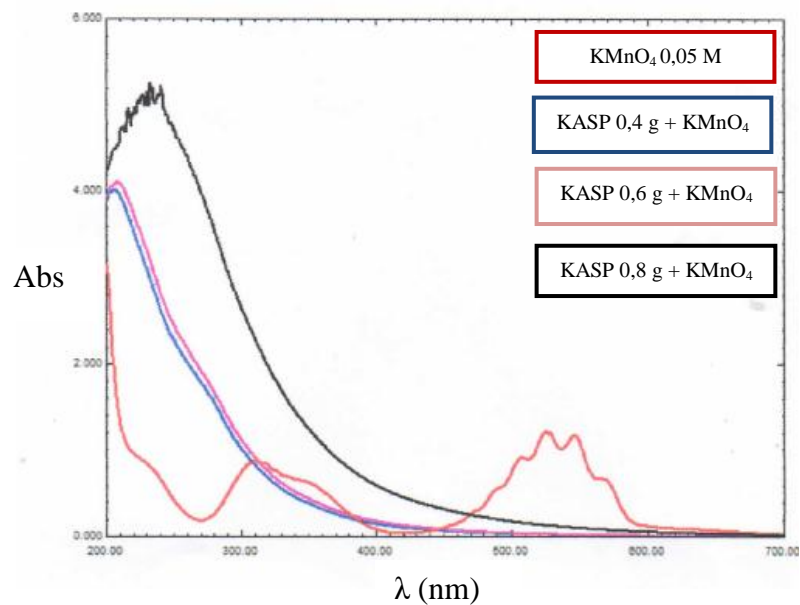
berturut-turut sebesar 75,69 % dan 58,39 %. Perbedaan kadar yang diperoleh bergantung pada kemampuan karbon dalam mengadsorpsi  $MnO_2$  yang terbentuk dari reaksi reduksi  $KMnO_4$  oleh karbon aktif.

Tabel 4. Komposisi senyawa oksida yang terkandung dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi  $MnO_2$  dengan variasi massa KASP 0,4 g; 0,6 g; dan 0,8 g

| Senyawa   | Kadar (%) |                     |                     |                     |
|-----------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|
|           | KASP      | KASP 0,4 g/ $MnO_2$ | KASP 0,6 g/ $MnO_2$ | KASP 0,8 g/ $MnO_2$ |
| $SiO_2$   | 92,50     | 41,42               | 10,93               | 16,74               |
| $MnO$     | -         | -                   | 75,69               | 58,39               |
| $ZnO$     | 4,05      | 7,38                | 1,39                | 1,63                |
| $K_2O$    | 0,720     | 27,19               | 11,09               | 9,02                |
| $P_2O_5$  | 1,33      | 9,53                | -                   | -                   |
| $Fe_2O_3$ | 0,619     | 2,89                | -                   | -                   |
| $CaO$     | 0,534     | 11,45               | -                   | -                   |
| $Nb_2O_3$ | 0,0131    | 0,038               | 0,0128              | 0,0123              |
| $In_2O_3$ | 0,0056    | 0,0262              | 0,0054              | -                   |
| $TiO_2$   | -         | -                   | 0,81                | 0,734               |
| $Co_3O_4$ | -         | -                   | 0,060               | 0,059               |

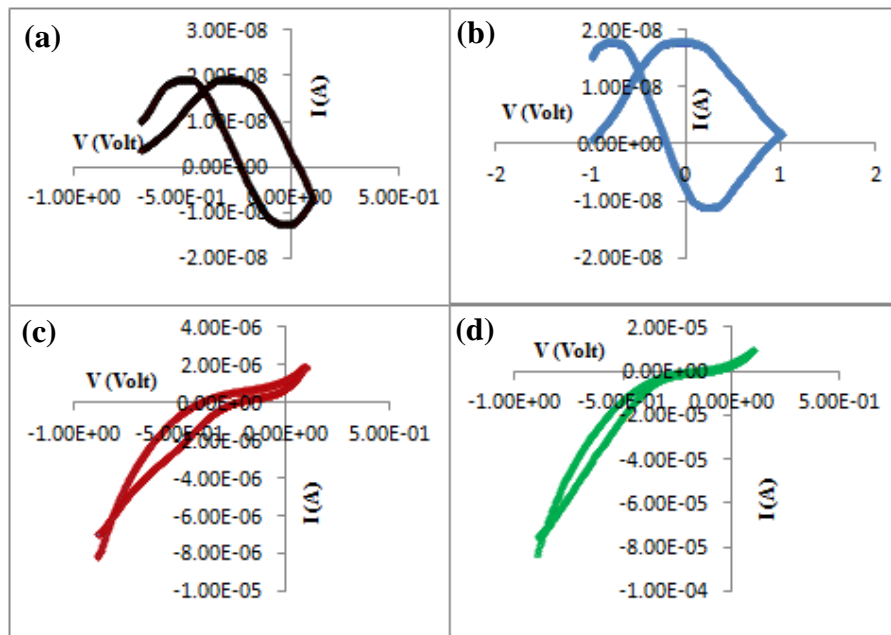
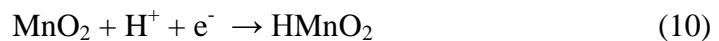
Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan spektrum yang juga sangat jauh berbeda antara filtrat sebelum dan sesudah deposisi (Gambar 12). Sebelum deposisi, Filtrat masih berupa larutan  $KMnO_4$  yang belum tereduksi membentuk  $MnO_2$  dengan karakteristik spektrum terdapat puncak serapan pada panjang gelombang 545,5 nm, 525,5 nm, 507,5 nm, 317 nm, dan 310 nm yang bersesuaian dengan hasil penelitian Jaganyi dkk (2013). Hal ini disebabkan karena larutan  $KMnO_4$  berwarna ungu gelap/violet yang menyerap warna komplementernya yaitu hijau-kuning dengan panjang gelombang antara 500-550. Tingkat oksidasi Mn pada  $MnO_4^-$  adalah +7 yang memiliki konfigurasi  $d^0$ , sehingga warna yang

terjadi pada  $\text{KMnO}_4$  bukan berasal dari transisi elektronik  $d \rightarrow d$  tetapi berasal dari berpindahan muatan dari ligan ke atom pusat Mn (LMCT) (Hamada dkk., 2016). Sedangkan setelah deposisi, baik sampel dengan massa 0,4 g, 0,6 g, maupun 0,8 g terjadi perubahan warna larutan menjadi kuning hingga kuning kecoklatan yang menunjukkan bahwa  $\text{MnO}_2$  yang dihasilkan sebagian terdispersi ke dalam larutan membentuk sistem koloid. Spektrum UV-Vis untuk ketiga sampel menunjukkan pola yang sama yaitu mulai memberikan serapan pada panjang gelombang *visible* (500 nm – 600 nm) dan optimum pada daerah UV (205 nm – 215 nm). Semakin besar absorpsi maka semakin banyak  $\text{MnO}_2$  yang terdispersi ke dalam larutan. Pada penelitian ini absorpsi tertinggi terdapat pada sampel karbon dengan massa 0,8 g, hal ini disebabkan karena semakin sedikit  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi maka semakin banyak  $\text{MnO}_2$  yang terdispersi ke dalam larutan. Namun, hal ini tidak berlaku pada sampel karbon 0,4 g, sebab sebagian besar  $\text{MnO}_2$  yang dihasilkan menempel pada dinding gelas kimia sehingga  $\text{MnO}_2$  yang terdispersi ke dalam larutan semakin sedikit.



Gambar 12. Spektrum UV-Vis larutan  $\text{KMnO}_4$  dan filtrat hasil reduksi larutan  $\text{KMnO}_4$  oleh KASP dengan massa 0,4 g; 0,6 g; 0,8 g

Nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh berdasarkan pengukuran dengan metode *cyclic voltammetry* mengalami peningkatan drastis setelah karbon aktif dideposisi dengan MnO<sub>2</sub>. Peningkatan nilai kapasitansi disebabkan karena MnO<sub>2</sub> bersifat pseudokapasitif. Penyimpanan muatan MnO<sub>2</sub> sebagai material pseudokapasitif dalam larutan elektrolit yaitu didasarkan pada terjadinya reaksi redoks yang menyebabkan perubahan bilangan oksidasi Mn dari +4 menjadi +3. Adapun mekanisme akumulasi muatan berdasarkan proses adsorpsi kation elektrolit berupa ion H<sup>+</sup> yang berasal dari elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang terjadi pada permukaan elektroda pasta karbon berdasarkan persamaan reaksi (Augustyn dkk., 2014):



Gambar 13. Voltammogram KASP (a), KASP 0,4 g/MnO<sub>2</sub> (b), KASP 0,6 g/MnO<sub>2</sub> (c), dan KASP 0,8 g/MnO<sub>2</sub> (d)

Gambar 13 merupakan voltammogram arus dan tegangan KASP sebelum dan sesudah terdesposisi MnO<sub>2</sub>. Pola siklik yang diperoleh antara KASP dengan

sampel karbon setelah deposisi dengan massa 0,4 gram hampir sama. hal ini disebabkan karena tidak ada  $MnO_2$  yang terdeposisi pada karbon. Nilai kapasitansi yang diperoleh juga hampir sama yaitu berturut-turut sebesar 0,0106 mF dan 0,0097 mF (Tabel 5). Sedangkan sampel karbon setelah deposisi dengan massa 0,6 g dan 0,8 g memiliki pola siklik yang berbeda dengan KASP sebelum deposisi. Hal ini disebabkan karena keberadaan  $MnO_2$  menyebabkan perubahan nilai arus dan tegangan saat pengukuran. Nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh berturut-turut sebesar 25,5019 mF dan 30,9914 mF. Karbon dengan massa 0,8 g memiliki nilai kapasitansi spesifik yang sedikit lebih besar daripada karbon dengan massa 0,6 gram meskipun jumlah  $MnO_2$  yang terdeposisi lebih banyak. Hal ini dapat disebabkan karena dengan banyaknya  $MnO_2$  yang terdeposisi justru menutupi pori-pori karbon sehingga proses adsorpsi ion oleh karbon menjadi lebih sedikit yang menyebabkan kapasitansinya juga berkurang.

Dalam penelitian ini, deposisi  $MnO_2$  pada permukaan karbon menyebabkan kemampuan penyimpanan elektroda meningkat sekitar 2000 kali lipat dari sebelumnya. Peningkatan nilai kapasitansi yang diperoleh jauh lebih besar dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Andhika dkk. (2015) dan Fauziyah dkk. (2015) yang mendeposisi logam Cu dan Pb pada permukaan karbon aktif sekam padi dengan nilai kapasitansi spesifik setelah deposisi berturut-turut sebesar 721,08 nF/g dan 1111,7 nF/g.

Tabel 5. Data *cyclic voltammetry* elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi  $MnO_2$  menggunakan massa KASP yang berbeda

| <b>Elektroda Pasta Karbon</b> | <b>Ic (mA)</b> | <b>Id (mA)</b> | <b>V (Volt)</b> | <b>Cs (mF/g)</b> |
|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| KASP                          | 0,0000197      | -0,0000121     | 0,1             | 0,0106           |
| KASP 0,4 g/ $MnO_2$           | 0,0000184      | -0,0000110     | 0,1             | 0,0097           |
| KASP 0,6 g/ $MnO_2$           | 0,0113         | -0,0652        | 0,1             | 25,5019          |
| KASP 0,8 g/ $MnO_2$           | 0,0108         | -0,0822        | 0,1             | 30,9914          |

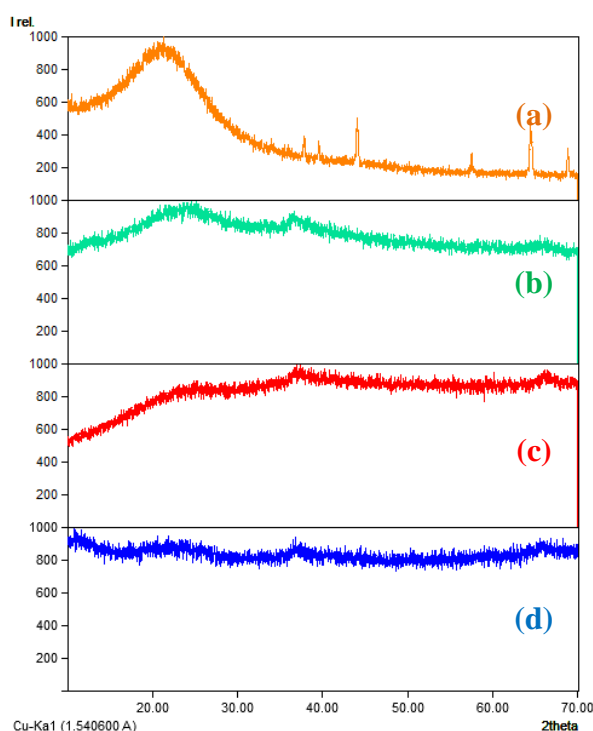
#### 4.4.2 Pengaruh Konsentrasi $\text{KMnO}_4$ terhadap Deposisi $\text{MnO}_2$

Proses deposisi  $\text{MnO}_2$  menggunakan massa karbon yang sama untuk mereduksi larutan  $\text{KMnO}_4$  dengan konsentrasi yang berbeda juga memberikan pengaruh yang besar terhadap jumlah  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi pada permukaan karbon aktif. Variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0,02 M; 0,05 M; dan 0,08 M. Menurut persamaan reaksi (5), semakin tinggi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang digunakan maka semakin banyak pula jumlah  $\text{MnO}_2$  yang dihasilkan.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan pola difraksi yang sangat berbeda antara karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  (gambar 14). Difraktogram untuk sampel karbon sebelum deposisi  $\text{MnO}_2$  menunjukkan adanya satu puncak lebar pada  $2\theta$   $20,81^\circ$  yang merupakan karakteristik dari struktur amorf karbon aktif sekam padi. Sedangkan sampel karbon setelah deposisi  $\text{MnO}_2$  masing-masing terbentuk 2 puncak baru pada  $2\theta$  sekitar  $37^\circ$  dan  $65^\circ$  yang mengindikasikan adanya  $\text{MnO}_2$  yang disertai dengan penurunan intensitas puncak amorf karbon yang telah ada sebelumnya. Semakin banyak  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi maka penurunan intensitas puncak semakin besar. Penurunan intensitas yang paling besar terjadi pada sampel karbon dengan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,08 M karena  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi yang paling besar sesuai dengan data hasil karakterisasi XRF pada Tabel 6.

Untuk sampel karbon dengan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,02 M menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$   $38,14^\circ$  dan  $65,38^\circ$  dengan ukuran partikel  $\text{MnO}_2$  sekitar 11,8365 nm. Selanjutnya untuk sampel karbon dengan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,05 M menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$   $36,76^\circ$  dan  $64,90^\circ$  dengan ukuran partikel  $\text{MnO}_2$  sekitar 14,0101 nm. Terakhir, untuk sampel karbon dengan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,08 M menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$   $37,20^\circ$  dan

64,90° dengan ukuran partikel MnO<sub>2</sub> sekitar 33,6206 nm. Perbedaan ukuran partikel disebabkan oleh distribusi MnO<sub>2</sub> pada permukaan karbon yang tidak merata dan terjadinya aglomerasi (penumpukan) MnO<sub>2</sub> sehingga ukurannya menjadi lebih besar.



Gambar 14. Difraktogram KASP (a), KASP/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,02 M) (b), KASP/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,05 M) (c), dan KASP/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,08 M) (d)

Tabel 6 menunjukkan komposisi senyawa oksida yang terkandung di dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub> menggunakan konsentrasi KMnO<sub>4</sub> yang berbeda. Sebelum deposisi kadar SiO<sub>2</sub> mencapai 92,5 % sedangkan mangan oksida belum terdapat dalam sampel KASP. Setelah deposisi, terjadi penurunan kadar SiO<sub>2</sub> yang sangat signifikan dan bahkan hilang serta mangan oksida mulai muncul dengan kadar yang cukup tinggi. Kadar MnO pada sampel karbon dengan konsentrasi KMnO<sub>4</sub> 0,02 M; 0,05 M; dan 0,08 M berturut-turut sebesar 45,71 %, 75,69 %, dan 79,66 %. Perbedaan kadar yang diperoleh

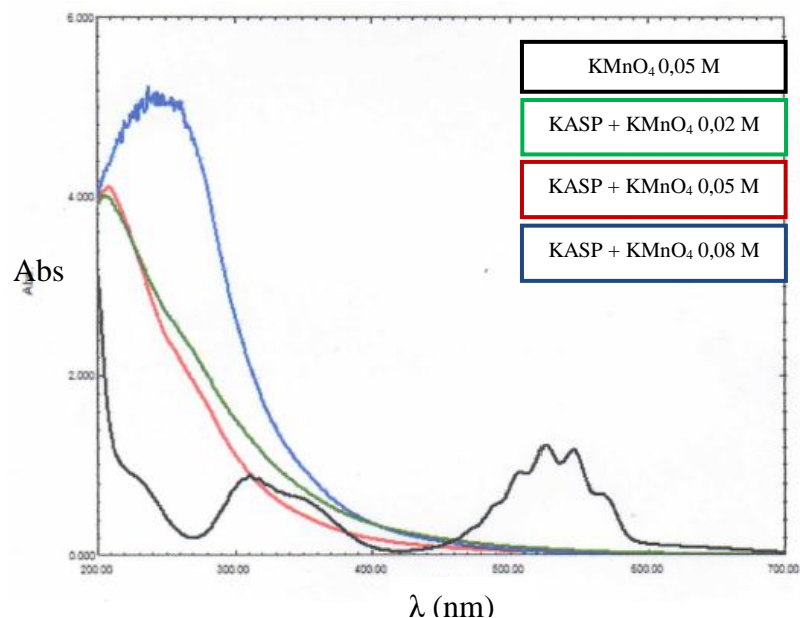
bergantung pada kemampuan karbon dalam mengadsorpsi  $\text{MnO}_2$  yang terbentuk dari reaksi reduksi  $\text{KMnO}_4$  oleh karbon aktif dan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang digunakan.

Tabel 6. Komposisi senyawa oksida yang terkandung dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  dengan variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,02 M, 0,05 M, dan 0,08 M

| Senyawa                 | Kadar (%) |   |   |   |
|-------------------------|-----------|---|---|---|
|                         | KASP      | KASP/ $\text{MnO}_2$<br>( $\text{KMnO}_4$ 0,02 M) | KASP/ $\text{MnO}_2$<br>( $\text{KMnO}_4$ 0,05 M) | KASP/ $\text{MnO}_2$<br>( $\text{KMnO}_4$ 0,08 M) |
| $\text{SiO}_2$          | 92,50     | 40,61   | 10,93   | -   |
| $\text{MnO}$            | -         | 45,71   | 75,69   | 79,66   |
| $\text{ZnO}$            | 4,05      | 2,48  | 1,39  | 0,941   |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 0,720     | 9,80  | 11,09   | 19,28   |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 1,33      | 1,30  | -   | -   |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 0,619     | -   | -   | -   |
| $\text{CaO}$            | 0,534     | -   | -   | -   |
| $\text{Nb}_2\text{O}_5$ | 0,0131    | -   | 0,0128  | -   |
| $\text{In}_2\text{O}_3$ | 0,0056    | -   | 0,0054  | 0,0068  |
| $\text{TiO}_2$          | -         | -   | 0,81  | -   |
| $\text{Co}_3\text{O}_4$ | -         | -   | 0,060   | 0,0065  |

Gambar 15 menunjukkan spektrum UV-Vis filtrat sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$ . Sebelum deposisi, Filtrat masih berupa larutan  $\text{KMnO}_4$  yang belum tereduksi membentuk  $\text{MnO}_2$  dengan karakteristik spektrum terdapat puncak serapan pada panjang gelombang 545,5 nm, 525,5 nm, 507,5 nm, 317 nm, dan 310 nm yang bersesuaian dengan hasil penelitian Jaganyi dkk (2013). Sedangkan setelah deposisi, baik sampel dengan dengan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,02 M, 0,05 M, maupun 0,08 M terjadi perubahan warna larutan menjadi kuning hingga kuning

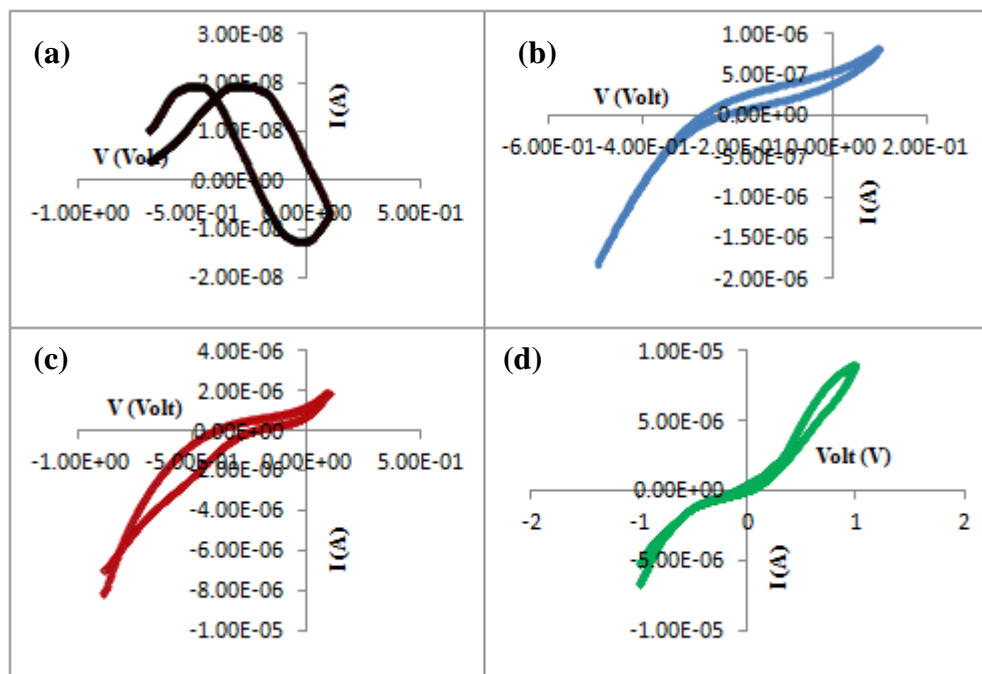
kecoklatan yang menunjukkan bahwa  $MnO_2$  yang dihasilkan sebagian terdispersi ke dalam larutan membentuk sistem koloid. Spektrum UV-Vis untuk ketiga sampel menunjukkan pola yang sama yaitu mulai memberikan serapan pada panjang gelombang *visible* (500 nm – 600 nm) dan optimum pada daerah UV (205 nm – 215 nm). Semakin besar absorpsi maka semakin banyak  $MnO_2$  yang terdispersi ke dalam larutan. Pada penelitian ini absorpsi tertinggi terdapat pada sampel karbon dengan konsentrasi  $KMnO_4$  0,08 M, hal ini disebabkan karena jika digunakan massa karbon yang sama maka, semakin tinggi konsentrasi  $KMnO_4$  yang digunakan maka semakin banyak  $MnO_2$  yang terdispersi ke dalam larutan. Sedangkan sampel dengan konsentrasi  $KMnO_4$  0,02 M dan 0,05 M memiliki absorpsi yang hampir sama. Hal ini mengindikasikan bahwa  $KMnO_4$  0,05 M merupakan konsentrasi optimum untuk deposisi  $MnO_2$  jika digunakan massa karbon sebesar 0,6 gram.



Gambar 15. Spektrum UV-Vis larutan  $KMnO_4$  dan filtrat hasil reduksi larutan  $KMnO_4$  dengan konsentrasi 0,02 M; 0,05 M; 0,08 M oleh KASP



Gambar 16 merupakan voltammogram arus dan tegangan KASP sebelum dan sesudah terdeposisi  $\text{MnO}_2$ . Pola siklik yang diperoleh antara KASP sebelum dan sesudah deposisi sangat berbeda. Hal ini disebabkan karena keberadaan  $\text{MnO}_2$  menyebabkan perubahan nilai arus dan tegangan saat pengukuran. Nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh juga mengalami peningkatan drastis setelah karbon aktif dideposisi dengan  $\text{MnO}_2$ . Peningkatan nilai kapasitansi disebabkan karena  $\text{MnO}_2$  bersifat pseudokapasitif.



Gambar 16. Voltammogram KASP (a), KASP/ $\text{MnO}_2$  ( $\text{KMnO}_4$  0,02 M) (b), KASP/ $\text{MnO}_2$  ( $\text{KMnO}_4$  0,05 M) (c), dan KASP/ $\text{MnO}_2$  ( $\text{KMnO}_4$  0,08 M) (d)

Nilai kapasitansi spesifik untuk KASP sebelum deposisi  $\text{MnO}_2$  sebesar 0,0106 mF. Sedangkan untuk sampel karbon setelah deposisi dengan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,02 M, 0,05 M, dan 0,08 M diperoleh nilai kapasitansi spesifik berturut-turut sebesar 1,3289 mF, 25,5019 mF dan 5,2582 mF. Hal ini mengindikasikan bahwa deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon menyebabkan

kemampuan penyimpanan elektroda meningkat sekitar 2000 kali lipat dari sebelumnya. Kapasitansi tertinggi terdapat pada karbon dengan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,05 M. Hal ini dapat disebabkan karena  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi cukup banyak dengan ukuran partikel yang lebih kecil sehingga menimbulkan efek pseudokapasitansi yang cukup besar jika dibandingkan dengan konsentrasi lainnya.

Tabel 7. Data *cyclic voltammetry* elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  menggunakan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang berbeda

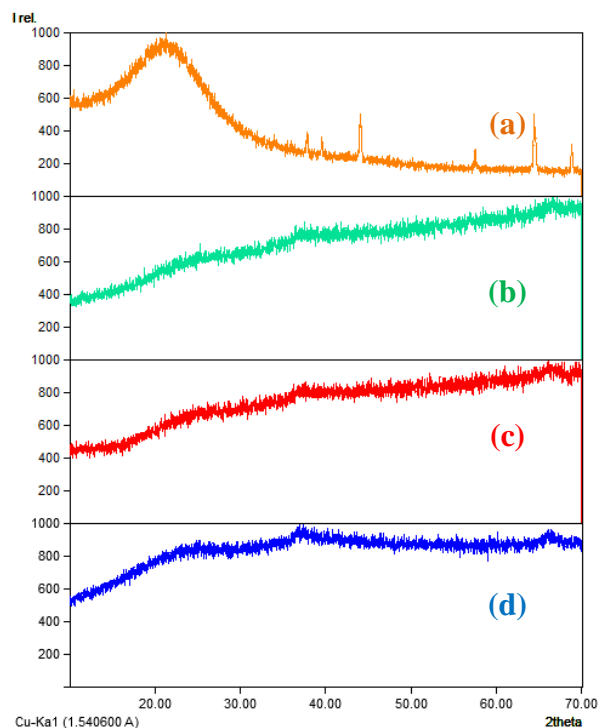
| <b>Elektroda Pasta Karbon</b>                  | <b>Ic (mA)</b> | <b>Id (mA)</b> | <b>V (Volt)</b> | <b>Cs (mF/g)</b> |
|--|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| KASP   | 0,0000197      | -0,0000121     | 0,1             | 0,0106           |
| KASP/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,02 M) | 0,00088        | -0,0031        | 0,1             | 1,3289           |
| KASP/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,05 M) | 0,0113         | -0,0652        | 0,1             | 25,5019          |
| KASP/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,08 M) | 0,00914        | -0,00663       | 0,1             | 5,2582           |

#### 4.4.3 Pengaruh Suhu terhadap Deposisi $\text{MnO}_2$

Proses deposisi  $\text{MnO}_2$  menggunakan massa dan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang sama pada suhu yang berbeda juga memberikan pengaruh terhadap jumlah  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi pada permukaan karbon aktif dan nilai kapasitansi elektroda. Variasi suhu yang digunakan dalam penelitian ini yaitu  $65^\circ\text{C}$ ,  $80^\circ\text{C}$ , dan  $95^\circ\text{C}$ .

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan pola difraksi yang sangat berbeda antara karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  (Gambar 17). Difraktogram untuk sampel karbon sebelum deposisi  $\text{MnO}_2$  menunjukkan adanya satu puncak lebar pada  $2\theta$   $20,81^\circ$  yang merupakan karakteristik dari struktur amorf karbon aktif sekam padi. Sedangkan sampel karbon setelah deposisi  $\text{MnO}_2$  masing-masing terbentuk 2 puncak baru pada  $2\theta$  sekitar  $37^\circ$  dan  $65^\circ$  yang mengindikasikan adanya  $\text{MnO}_2$  yang disertai dengan penurunan intensitas puncak amorf karbon yang telah ada sebelumnya.

Untuk sampel karbon yang terdeposisi pada suhu 65 °C menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$  36,86° dan 65,80° dengan ukuran partikel MnO<sub>2</sub> sekitar 8,7245 nm. Selanjutnya untuk sampel karbon yang terdeposisi pada suhu 80 °C menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$  36,86° dan 64,44° dengan ukuran partikel MnO<sub>2</sub> sekitar 11,5721 nm. Terakhir, untuk sampel karbon yang terdeposisi pada suhu 95 °C menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$  36,76° dan 64,90° dengan ukuran partikel MnO<sub>2</sub> sekitar 14,0101 nm. Adanya perbedaan ukuran partikel dapat disebabkan karena terjadinya perubahan suhu menyebabkan struktur dan kristalinitas berubah. Selain itu, Perbedaan ukuran partikel juga kemungkinan disebabkan karena distribusi MnO<sub>2</sub> pada permukaan karbon yang tidak merata dan terjadinya aglomerasi (penumpukan) MnO<sub>2</sub> sehingga ukurannya menjadi lebih besar.



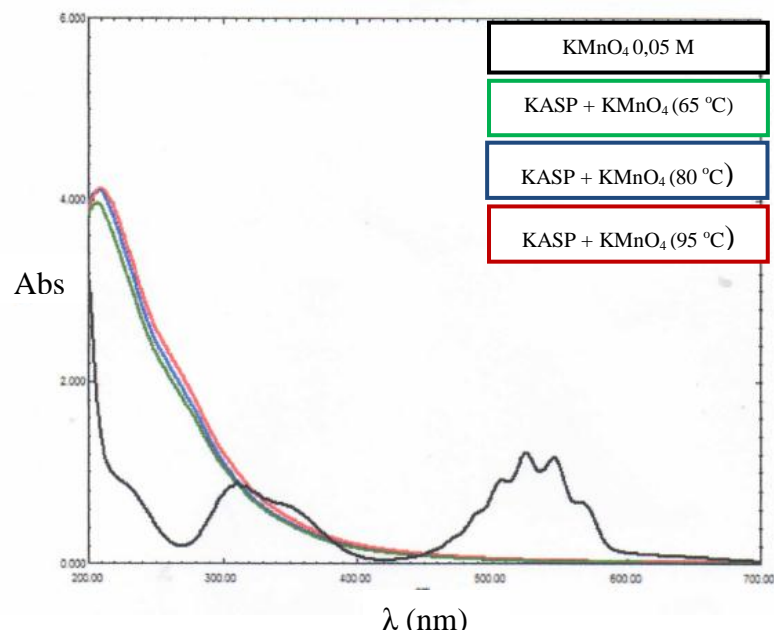
Gambar 17. Difraktogram KASP (a), KASP/MnO<sub>2</sub> (65 °C) (b), KASP/MnO<sub>2</sub> (80 °C) (c), dan KASP/MnO<sub>2</sub> (95 °C) (d)

Tabel 8 menunjukkan komposisi senyawa oksida yang terkandung di dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub> pada suhu yang berbeda. Sebelum deposisi kadar SiO<sub>2</sub> mencapai 92,5 % sedangkan mangan oksida belum terdapat dalam sampel KASP. Setelah deposisi, terjadi penurunan kadar SiO<sub>2</sub> yang sangat signifikan dan mangan oksida mulai muncul dengan kadar yang cukup tinggi. Kadar oksida mangan pada karbon yang terdeposisi pada suhu 65 °C, 80 °C, dan 95 °C berturut-turut sebesar 71,64 %, 72,51 %, dan 75,69 %. Kadar yang diperoleh tidak terlalu jauh berbeda sebab jumlah karbon dan konsentrasi KMnO<sub>4</sub> yang digunakan sama. Terjadinya peningkatan suhu menyebabkan kemampuan adsorpsi karbon meningkat karena tumbukan antar molekul adsorben dengan adsorbat semakin besar.

Tabel 8. Komposisi senyawa oksida yang terkandung dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub> dengan variasi Suhu 65 °C, 80 °C, dan 95 °C

| Senyawa                        | Kadar (%) |                                  |                                  |                                  |
|--------------------------------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                                | KASP      | KASP/MnO <sub>2</sub><br>(65 °C) | KASP/MnO <sub>2</sub><br>(80 °C) | KASP/MnO <sub>2</sub><br>(95 °C) |
| SiO <sub>2</sub>               | 92,50     | 15,81                            | 14,66                            | 10,93                            |
| MnO                            | -         | 71,64                            | 72,51                            | 75,69                            |
| ZnO                            | 4,05      | 1,41                             | 1,59                             | 1,39                             |
| K <sub>2</sub> O               | 0,720     | 10,33                            | 10,21                            | 11,09                            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,619     | -                                | -                                | -                                |
| CaO                            | 0,534     | -                                | -                                | -                                |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,0131    | 0,0090                           | 0,0074                           | 0,0128                           |
| In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0056    | -                                | -                                | 0,0054                           |
| TiO <sub>2</sub>               | -         | 0,73                             | 0,962                            | 0,81                             |
| Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | -         | 0,053                            | 0,045                            | 0,060                            |

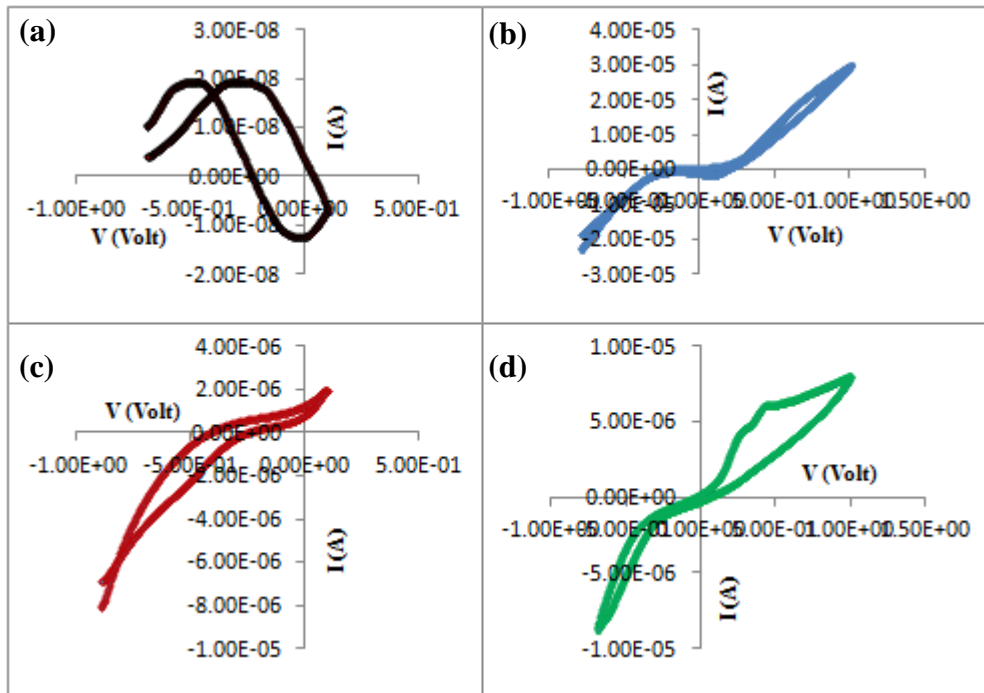
Gambar 18 menunjukkan spektrum UV-Vis filtrat sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$ . Setelah deposisi, semua filtrat yang dihasilkan mengalami perubahan warna menjadi kuning hingga kuning kecoklatan yang menunjukkan bahwa  $\text{MnO}_2$  yang dihasilkan sebagian terdispersi ke dalam larutan membentuk sistem koloid. Spektrum UV-Vis untuk ketiga sampel menunjukkan pola yang sama yaitu mulai memberikan serapan pada panjang gelombang *visible* (500 nm – 600 nm) dan optimum pada daerah UV (205 nm – 215 nm). Semakin besar absorpsi maka semakin banyak  $\text{MnO}_2$  yang terdispersi ke dalam larutan. Pada penelitian ini semua filtrat baik pada suhu 65 °C, 80 °C, maupun 95 °C menunjukkan nilai absorpsi yang hampir sama. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah  $\text{MnO}_2$  yang terdispersi ke dalam larutan juga hampir sama.



Gambar 18. Spektrum UV-Vis larutan  $\text{KMnO}_4$  dan filtrat hasil reduksi larutan  $\text{KMnO}_4$  oleh KASP pada suhu 65 °C; 80 °C; 95 °C

Gambar 19 merupakan voltammogram arus dan tegangan KASP sebelum dan sesudah terdeposisi  $\text{MnO}_2$ . Pola siklik yang diperoleh antara KASP sebelum

dan sesudah deposisi sangat berbeda. Hal ini disebabkan karena keberadaan  $\text{MnO}_2$  menyebabkan perubahan nilai arus dan tegangan saat pengukuran. Nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh juga mengalami peningkatan drastis setelah karbon aktif dideposisi dengan  $\text{MnO}_2$ . Peningkatan nilai kapasitansi disebabkan karena  $\text{MnO}_2$  bersifat pseudokapasitif.



Gambar 19. Voltamogram KASP (a), KASP/ $\text{MnO}_2$  (65 °C) (b), KASP/ $\text{MnO}_2$  (80 °C) (c), dan KASP/ $\text{MnO}_2$  (95 °C) (d)

Tabel 9 menunjukkan nilai kapasitansi spesifik KASP sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  yang dilakukan pada suhu yang berbeda. Nilai kapasitansi spesifik untuk KASP sebelum deposisi  $\text{MnO}_2$  sebesar 0,0106 mF. Sedangkan untuk sampel karbon setelah deposisi pada suhu 65 °C, 80 °C, dan 95 °C diperoleh nilai kapasitansi spesifik berturut-turut sebesar 17,6597 mF, 21,8541 mF dan 25,5019 mF. Hal ini mengindikasikan bahwa deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon menyebabkan kemampuan penyimpanan elektroda meningkat sekitar 2000 kali lipat dari sebelumnya. Kapasitansi tertinggi terdapat pada karbon

yang terdeposisi pada suhu 95 °C. Akan tetapi nilai kapasitansi yang diperoleh tidak terlalu jauh berbeda. Hal ini dapat disebabkan karena MnO<sub>2</sub> yang terdeposisi cukup banyak sehingga menimbulkan efek pseudokapasitansi yang cukup besar jika dibandingkan dengan suhu lainnya.

Tabel 9. Data *cyclic voltammetry* elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub> pada suhu yang berbeda

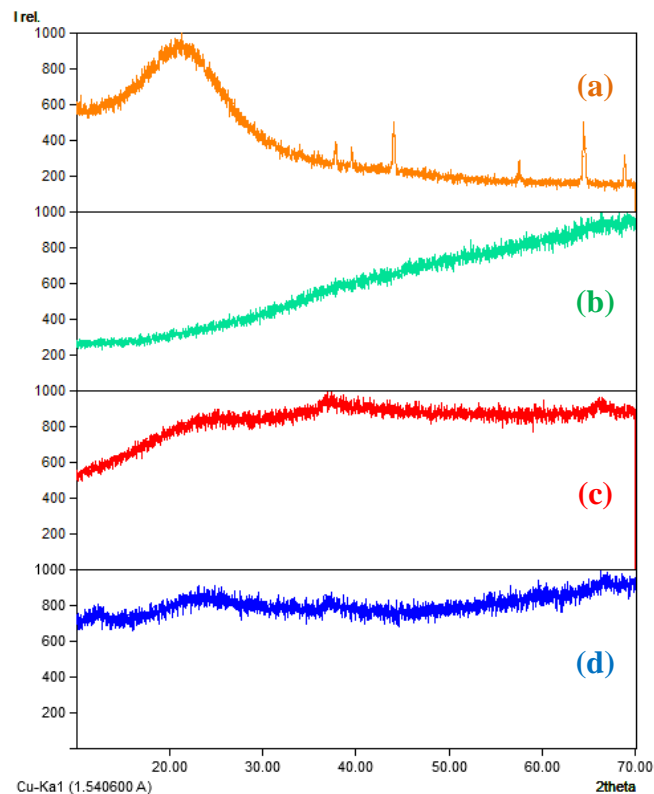
| <b>Elektroda Pasta Karbon</b> | <b>I<sub>c</sub> (mA)</b> | <b>I<sub>d</sub> (mA)</b> | <b>V (Volt)</b> | <b>C<sub>s</sub> (mF/g)</b> |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|
| KASP                          | 0,0000197                 | -0,0000121                | 0,1             | 0,0106                      |
| KASP/MnO <sub>2</sub> (65 °C) | 0,0301                    | -0,0229                   | 0,1             | 17,6597                     |
| KASP/MnO <sub>2</sub> (80 °C) | 0,0343                    | -0,0313                   | 0,1             | 21,8541                     |
| KASP/MnO <sub>2</sub> (95 °C) | 0,0113                    | -0,0652                   | 0,1             | 25,5019                     |

#### 4.4.4 Pengaruh pH terhadap Deposisi MnO<sub>2</sub>

Proses deposisi MnO<sub>2</sub> menggunakan massa karbon, konsentrasi KMnO<sub>4</sub>, dan suhu yang sama pada suasana pH yang berbeda juga memberikan pengaruh terhadap jumlah MnO<sub>2</sub> yang terdeposisi pada permukaan karbon aktif dan nilai kapasitansi elektroda yang diperoleh. Deposisi MnO<sub>2</sub> dalam penelitian ini dilakukan dalam suasana asam, basa dan netral.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan pola difraksi yang sangat berbeda antara karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub> (Gambar 20). Difraktogram untuk sampel karbon sebelum deposisi MnO<sub>2</sub> menunjukkan adanya satu puncak lebar pada  $2\theta$  20,81° yang merupakan karakteristik dari struktur amorf karbon aktif sekam padi. Sedangkan sampel karbon setelah deposisi MnO<sub>2</sub> masing-masing terbentuk 2 puncak baru pada  $2\theta$  sekitar 37° dan 65° yang mengindikasikan adanya MnO<sub>2</sub> yang disertai dengan penurunan intensitas puncak amorf karbon yang telah ada sebelumnya.

Untuk sampel karbon yang terdeposisi pada suasana asam menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$   $37,14^\circ$  dan  $64,56^\circ$  dengan ukuran partikel  $\text{MnO}_2$  sekitar 14,2839 nm. Terbentuknya  $\text{MnO}_2$  dalam suasana asam dapat disebabkan karena reduktor (karbon) yang digunakan untuk mereduksi  $\text{KMnO}_4$  merupakan reduktor lemah sehingga  $\text{KMnO}_4$  tidak tereduksi membentuk  $\text{Mn(II)}$  melainkan  $\text{Mn(IV)}$ . Selanjutnya untuk sampel karbon yang terdeposisi pada suasana basa menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$   $37,86^\circ$  dan  $65,30^\circ$  dengan ukuran partikel  $\text{MnO}_2$  sekitar 11,3535 nm. Terakhir, untuk sampel karbon yang terdeposisi pada suasana netral menunjukkan adanya puncak pada  $2\theta$   $36,76^\circ$  dan  $64,90^\circ$  dengan ukuran partikel  $\text{MnO}_2$  sekitar 14,0101 nm. Perbedaan ukuran partikel disebabkan oleh distribusi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon yang tidak merata dan terjadinya aglomerasi (penumpukan)  $\text{MnO}_2$  sehingga ukurannya menjadi lebih besar.



Gambar 20. Difraktogram KASP (a), KASP/ $\text{MnO}_2$  (Asam) (b), KASP/ $\text{MnO}_2$  (Netral) (c), dan KASP/ $\text{MnO}_2$  (Basa) (d)

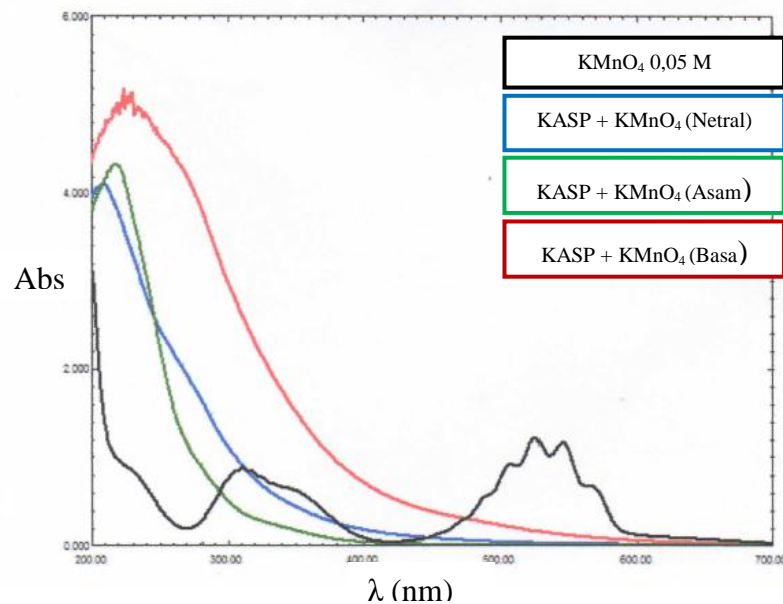


Tabel 10 menunjukkan komposisi senyawa oksida yang terkandung di dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub>. Sebelum deposisi kadar SiO<sub>2</sub> mencapai 92,5 % sedangkan oksida mangan belum terdapat dalam sampel KASP. Setelah deposisi, terjadi penurunan kadar SiO<sub>2</sub> yang sangat signifikan dan khusus pada suasana basa SiO<sub>2</sub> menghilang dan mangan oksida mulai muncul dengan kadar yang cukup tinggi. Kadar oksida mangan pada karbon yang terdeposisi pada suasana asam, basa, dan netral berturut-turut sebesar 76,75 %, 95,28 %, dan 75,69 %. Kadar MnO tertinggi terdapat pada karbon yang terdeposisi dalam suasana basa. Menurut Meng dkk (2013), MnO<sub>2</sub> di hasilkan dari reduksi KMnO<sub>4</sub> dan semakin tinggi pH maka pembentukan MnO<sub>2</sub> semakin stabil.

Tabel 10. Komposisi senyawa oksida yang terkandung dalam KASP sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub> pada suasana asam, basa, dan netral

| Senyawa                        | Kadar (%) |                                 |                                 |                                   |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                                | KASP      | KASP/MnO <sub>2</sub><br>(Asam) | KASP/MnO <sub>2</sub><br>(Basa) | KASP/MnO <sub>2</sub><br>(Netral) |
| SiO <sub>2</sub>               | 92,50     | 9,47                            | -                               | 10,93                             |
| MnO                            | -         | 76,75                           | 95,28                           | 75,69                             |
| ZnO                            | 4,05      | 0,066                           | 1,88                            | 1,39                              |
| K <sub>2</sub> O               | 0,720     | 0,457                           | 1,55                            | 11,09                             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 1,33      | -                               | 0,262                           | -                                 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,619     | -                               | -                               | -                                 |
| CaO                            | 0,534     | -                               | -                               | -                                 |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,0131    | 0,0133                          | -                               | 0,0128                            |
| In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0056    | -                               | -                               | 0,0054                            |
| TiO <sub>2</sub>               | -         | 0,79                            | 0,955                           | 0,81                              |
| Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | -         | 0,057                           | 0,065                           | 0,060                             |

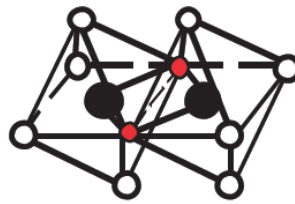
Gambar 21 menunjukkan spektrum UV-Vis filtrat sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$ . Setelah deposisi, filtrat hasil deposisi dalam suasana basa ( $\text{pH} = 12$ ) dan netral mengalami perubahan warna menjadi kuning dan kuning kecoklatan yang menunjukkan bahwa  $\text{MnO}_2$  yang dihasilkan sebagian terdispersi ke dalam larutan membentuk sistem koloid. Sedangkan filtrat hasil deposisi dalam suasana asam ( $\text{pH} = 3$ ) mengalami perubahan menjadi tidak berwarna (bening). Spektrum UV-Vis untuk filtrat dalam suasana basa dan netral menunjukkan pola yang sama seperti sebelumnya yaitu mulai memberikan serapan pada panjang gelombang *visible* (500 nm – 600 nm) dan optimum pada daerah UV (205 nm – 215 nm). Khusus untuk filtrat dalam suasana asam, hanya memberikan serapan di daerah UV yaitu pada panjang gelombang 218,5 nm. Hal ini mengindikasikan bahwa spesi Mn yang dihasilkan berbeda.



Gambar 21. Spektrum UV-Vis larutan  $\text{KMnO}_4$  dan filtrat hasil reduksi larutan  $\text{KMnO}_4$  oleh KASP pada suasana asam, basa, dan netral

Menurut Zakir dkk (2005), reduksi  $\text{TcO}_4^-$  (Tc terletak segolongan dengan Mn) merupakan fungsi pH. Pada pH lebih dari 3, produk dominan yang terbentuk

adalah fraksi Tc(IV) koloidal dalam bentuk senyawa  $\text{TcO}_2$  sedangkan pada pH kurang dari 3 produk yang dominan terbentuk adalah fraksi Tc(IV) polimerik ( $\text{Tc}_n\text{O}_p^{(4n-2p)+}$ ,  $n > 2$ ) dalam bentuk ion  $\text{Tc}_3\text{O}_4^{4+}$  yang merupakan prekursor dari koloid  $\text{TcO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  yang dapat diperoleh dengan meningkatkan pH. Sehingga, semakin tinggi pH maka semakin banyak  $\text{TcO}_2$  koloidal yang dihasilkan dan begitupun sebaliknya.



Gambar 22. Struktur Tc(IV) polimerik ( $\text{Tc}_n\text{O}_p^{(4n-2p)+}$ ) (Poineau dkk., 2006)

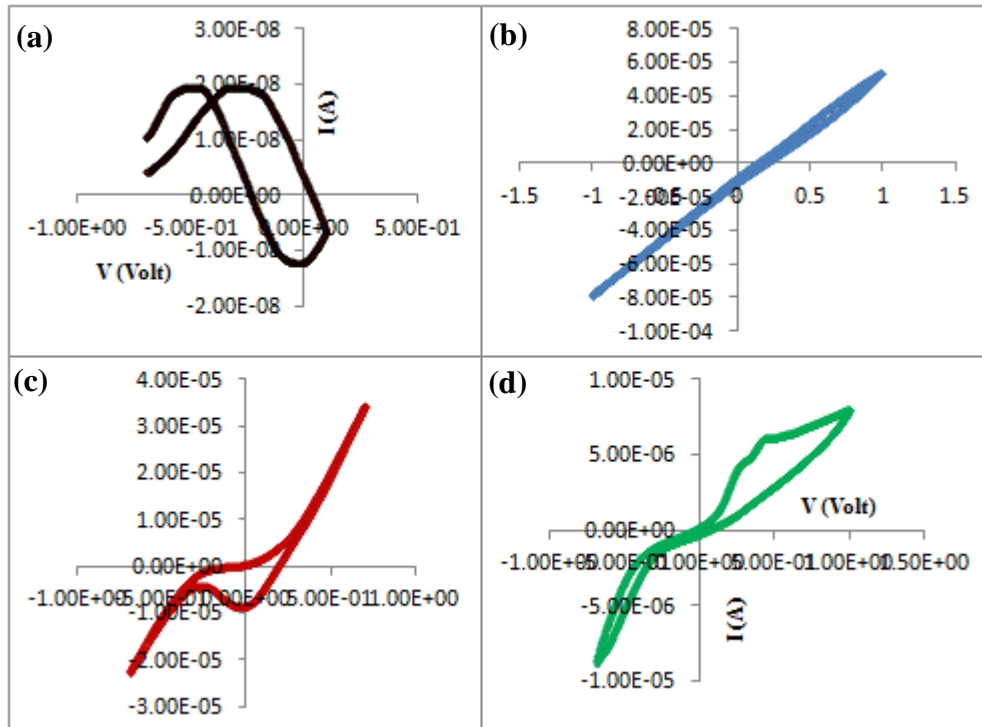
Dalam penelitian ini, absorbansi tertinggi terjadi pada suasana basa yang mengindikasikan  $\text{MnO}_2$  yang terdispersi banyak. Sedangkan spesi terlarut dalam suasana asam yang ditawarkan berupa ion  $\text{Mn}_3\text{O}_4^{4+}$  (Mn(IV) polimerik). Hal ini terbukti dengan terbentuknya  $\text{MnO}_2$  saat pH filtrat ditingkatkan melalui penambahan NaOH seperti ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 23. Filtrat hasil deposisi  $\text{MnO}_2$  dalam suasana asam sebelum dan sesudah penambahan NaOH

Gambar 23 merupakan voltammogram arus dan tegangan KASP sebelum dan sesudah terdeposisi  $\text{MnO}_2$ . Pola siklik yang diperoleh antara KASP sebelum dan sesudah deposisi sangat berbeda. Hal ini disebabkan karena keberadaan  $\text{MnO}_2$

menyebabkan perubahan nilai arus dan tegangan saat pengukuran. Nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh juga mengalami peningkatan drastis setelah karbon aktif dideposisi dengan  $\text{MnO}_2$ . Peningkatan nilai kapasitansi disebabkan karena  $\text{MnO}_2$  bersifat pseudokapasitif.



Gambar 24. Voltamogram KASP (a), KASP/ $\text{MnO}_2$  (Asam) (b), KASP/ $\text{MnO}_2$  (Basa) (c), dan KASP/ $\text{MnO}_2$  (95 °C) (d)

Tabel 11 menunjukkan nilai kapasitansi spesifik KASP sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  yang dilakukan pada kondisi pH yang berbeda. Nilai kapasitansi spesifik untuk KASP sebelum deposisi  $\text{MnO}_2$  sebesar 0,0106 mF. Sedangkan untuk sampel karbon setelah deposisi pada suasana asam, basa, dan netral diperoleh nilai kapasitansi spesifik berturut-turut sebesar 31,2076 mF, 19,1089 mF dan 25,5019 mF. Hal ini mengindikasikan bahwa deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon menyebabkan kemampuan penyimpanan elektroda meningkat sekitar 2000 kali lipat dari sebelumnya. Kapasitansi tertinggi terdapat

pada karbon yang terdeposisi pada suasana asam. Hal ini disebabkan karena pada suasana asam, proses penangkapan elektron oleh elektroda meningkat karena konsentrasi  $H^+$  dalam larutan juga meningkat. Sebaliknya, dalam suasana basa proses penangkapan elektron oleh elektroda menurun karena konsentrasi  $H^+$  dalam larutan juga menurun meskipun  $MnO_2$  yang terdeposisi lebih banyak dibanding suasana asam dan netral.

Tabel 11. Data *cyclic voltammetry* elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi  $MnO_2$  pada kondisi pH yang berbeda

| <b>Elektroda Pasta Karbon</b> | <b>Ic (mA)</b> | <b>Id (mA)</b> | <b>V (Volt)</b> | <b>Cs (mF/g)</b> |
|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| KASP                          | 0,0000197      | -0,0000121     | 0,1             | 0,0106           |
| $KMnO_4/MnO_2$ (Asam)         | 0,0398         | -0,0538        | 0,1             | 31,2076          |
| $KMnO_4/MnO_2$ (Basa)         | 0,0347         | -0,0226        | 0,1             | 19,1089          |
| $KMnO_4/MnO_2$ (Netral)       | 0,0113         | -0,0652        | 0,1             | 25,5019          |

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari hasil penelitian yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. massa karbon aktif, konsentrasi  $\text{KMnO}_4$ , suhu, dan pH mempengaruhi jumlah  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi pada permukaan KASP. Agar  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi maksimum, proses deposisi dilakukan dengan cara mereaksikan 0,6 gram KASP dan  $\text{KMnO}_4$  0,05 M pada suhu  $95\text{ }^\circ\text{C}$  dalam suasana basa, dan
2.  $\text{MnO}_2$  memberikan efek pseudokapasitansi yang cukup baik. Deposisi  $\text{MnO}_2$  dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif sekam padi hingga 2000 kali lipat dengan nilai kapasitansi spesifik sebelum deposisi  $\text{MnO}_2$  sebesar 0,0106 mF/g.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya tentang studi karbon aktif sebagai bahan penyimpanan energi elektrokimia adalah sebagai berikut:

1. perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai cara pembuatan elektroda karbon, pengaruh jenis dan konsentrasi elektrolit, waktu kontak optimum antara elektroda dan elektrolit serta jumlah karbon yang digunakan dalam penentuan kapasitansi spesifik karbon aktif,
2. perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai proses deposisi  $\text{MnO}_2$  untuk variasi pH yang digunakan untuk mengontrol pembentukan nanopartikel sehingga diperoleh kemampuan penyimpanan yang lebih besar, dan
3. untuk peneliti selanjutnya, sebaiknya digunakan metode sentrifugasi untuk memisahkan karbon dengan filtrat agar  $\text{MnO}_2$  yang terbentuk tidak lolos ke larutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R., 2004, *Kimia Lingkungan*, Andi, Yogyakarta.
- Aisah, S., Yulianti, E., dan Fasya, A.G., 2010, Penurunan Angka Peroksida dan Asam Lemak Bebas(FFA) pada Proses Bleaching Minyak Goreng Bekasoleh Karbon Aktif Polong Buah Kelor (*Moringa oleifera*. Lamk) dengan Aktivasi NaCl, *Alchemy*, **1**( 2): 53-103.
- Andaka, G., 2008, Penurunan Kadar Tembaga pada Limbah Cair Industri Kerajinan Perak dengan Presipitasi menggunakan Natrium Hidroksida, *J. Teknol.*, **1** (2): 127-134.
- Andhika, R., 2015, *Elektrodeposisi Logam Cu Pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi Bebas Silika dengan Iradiasi Ultrasonik*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Antonucci, P.L., and Antonucci, V., 2011, *Electrochemical Energy Storage*, In Tech China, Shanghai.
- Augustyn, V., Simon, P., dan Dunn, B., 2014, Pseudocapacitive oxide materials for high-rate electrochemical energy storage, *Open Archive Toulouse Archive Ouverte, Energy & Environmental Science*, **7**: 1597-1614.
- Badan Pusat Statistik Pertambangan dan Energi, 2014, *Statistik Listrik 2011-2014*, Badan Pusat Statistik Indonesia, Jakarta.
- Badan Pusat Statistik Tanaman Pangan, 2015, *Produksi Tanaman Pangan*, Badan Pusat Statistik Indonesia, Jakarta.
- Chacon-Patino, M. L., Blanco-Tirado, C., Hinesfroza, J. P., and Combariza, M. Y., 2013, Biocomposite of Nanodstructure MnO<sub>2</sub> and Figue Fibers for Efficient Dye Degradations Green Chemistry, DOI: 10.1039C36C40911B.
- Chen, M.D., Wumale, T., Li, W.L., Song, H.H., Song, R.R, 2015, Electrochemical Performance of cotton stalk based activated carbon electrodes modified by MnO<sub>2</sub> for supercapasitor, *Mat. Tech.*, **30**; A2-A7.
- Chouhan, N., and Liu, R., 2012, *Electrochemical Technologies for Energy Storage and Conversion, First Edition*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Taiwan.
- Cotton, F.A., and Wilkinson, G., 1980, *Advanced Inorganic Chemistry, Fourth Edition*, Jhon Willey & Sons, Canada.

- Danarto, Y.C., dan Samun, T., 2008, Pengaruh Aktivasi Karbon Dari Sekam Padi Pada Proses Adsorpsi Logam Cr(VI), *Ekulibrium*, **7**(1): 13– 6.
- Daubert, J.S., Lewis, N.P., Gotsch, H.N., Mundy, J.Z., Monroe, D.N., Dickey, E.C., Losego, M.D., Parsons, G.N., 2015, Effect meso and micro porosity in carbon electrodes on atomic layer deposition of pseudokapasitive V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> for high performance supercapacitors, *Chem. Mater*, **27**(19); 6524-6534.
- Erdinc, O., Vural, B., and Uzunoglu, M., 2009, A wavelet-fuzzy logic based energy management strategy for a fuel cell/battery/ultra-capacitor hybrid vehicular power system, *Journal of Power Sources*, **194**; 369–380.
- Fauziah, R., 2015, *Elektrodeposisi Logam Pb Pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi Bebas Silika dengan Iradiasi Ultrasonik*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Frackowiak, E. and Beguin, F., 2001, Carbon Materials for The Electrochemical Storage of Energy in Capacitors, *Carbon*, **39**, 937-950.
- Hamada, Y.Z., Makoni, N., and Hamada, H., 2016, Three Very Different UV-VIS Absorption Spectra of Three Different Transition Metals Found in Biological Solutions, *Electronic Journal of Biology*: S2, 6-9.
- International Electrotechnical Commission, 2011, *Electrical Energy Storage*, IEC Geneva, Switzerland.
- Jaganyi, D., Altaf, M., dan Wekesa, I., 2013, Synthesis and Characterization of Whisker-Shaped MnO<sub>2</sub> Nanostructure at Room Temperature, *Appl Nanosci*, **3**: 329-333.
- Jamilatun, S., dan Setyawan, M., 2014, Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair, *Spektrum Industri*, **12** (1); 74-83.
- Karyasa, I.W., 2014, Pembuatan Ultra Fine Amorphous Silica (UFAS) dari Jerami Padi dan Sekam Padi, *J. Sains Teknol.*, **3** (1), 263-274.
- Khan, Z., Al-Thabaiti, S.A., Obaid, A. B., dan Khan, Z.A., 2010, MnO<sub>2</sub> Nanostructure of Different Morphologies from Amino Acids-MnO<sub>4</sub> Reactions in Aqueous Solutions, *Colloids and Surface B.*, **81** (2010): 381-384.
- Kumar, P.S., Ramakrishnan, K., Kirupha, S.D. and Sivanesan, S., 2010, Thermodynamic and Kinetic Studies of Cadmium Adsorption from Aqueous Solution onto Rice Husk, *Braz. J. Chem. Eng.*, **27** (2), 347-355.



- Koleangan, H.S.J. dan Wuntu, A.D., 2008, Kajian Stabilitas Termal dan Karakter Kovalen Zat Pengaktif pada Arang Aktif Limbah Gergajian Kayu Meranti (*Shorea spp*), *Chem. Prog.*, **1** (1): 43-46.
- Labanni', A., Zakir, M. dan Maming, 2015, Sintesis dan Karakterisasi Karbon Nanopori Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) dengan Aktivator ZnCl<sub>2</sub> melalui Iradiasi Ultrasonik sebagai Bahan Penyimpan Energi Elektrokimia, *Indo. Chim. Acta*, **8** (1), 1-9.
- Lai, F., Miao, Y., Huang, Y., Chung, T.S., dan Liu, T., 2015, Flexible hybridmembranes of NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-doped carbon nanofiber-MnO<sub>2</sub> core-sheath nanostructures for high performance supercapacitors, *J. Phys. Chem. C.*, **119** (24); 13442-13450.
- Liu, Y., Hu, Z., Xu, K., Zheng, X., Gao, Q., 2008, Surface Modification and Performance of Activated Carbon Electrode Material, *Acta Phys. Chim. Sinica*, **24** (7), 1143-1148.
- Mahvi, A.H., Maleki, A. and Eslami, A., 2004, Potential of Rice Husk Ash for Phenol Removal in Aqueous Systems, *Am. J. Appl. Sci.*, **1** (4), 321-326.
- Manocha, S.M., 2003, Porous Carbon, *Sadhana*, **28**, 335-348.
- Meng, F., Yan, X., Zhu, Y., dan Si, P., 2013, Controlable synthesis of MnO<sub>2</sub>/polyaniline nanocomposite and its electrochemical capacitive property, *Nanoscale Research Letter*, **8**; 1-8.
- Miller, J.R., dan Simon, P., 2008, Electrochemical Capacitors for Energy Management, *Open Archive Toulouse Archive Ouverte, Science Magazine*, **321**: 651-652.
- Moon, S. A., Salunke, B. P., Alkotaini, B., Sethiyamoonthi, E., Kim, B. S., 2014, Biological Synthesis of Manganese Dioxide Nanoparticles by Kalopanax Pictus Plant Extract, *The Institution of Engineering and Technology*, ISSN 1751-8741, 1-6.
- Mujiyanti, D.R., Nuryono dan Kunarti, E.S., 2010, Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi yang Diimobilisasi dengan 3-(Trimetoksisilil)-1- Propantiol, *Sains Ter. Kim.*, **4** (2): 150-167.
- Nashrullah, M., dan Darminto, 2013, Analisa Fasa dan Lebar Celah Pita Energi Karbon pada Hasil Pemanasan Tempurung Kelapa, *Jurnal Seni dan Sains Pomits*, 1-5.
- Poineau, F., Fattahi, M., Montavon, G., and Grambow, B., 2006, Condensation mechanisms of tetravalent technetium in chloride media, *Radiochim Acta*, **94**: 291-299.

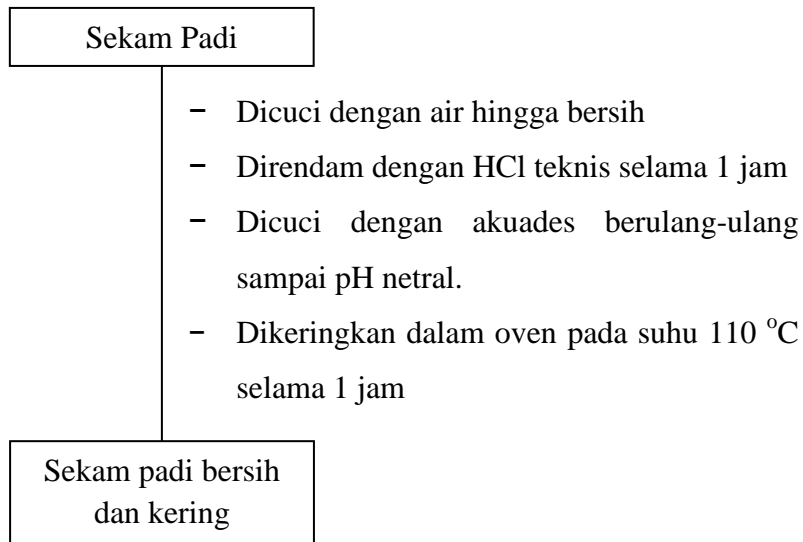
- Prastowo, B., 2007, Potensi Sektor Pertanian Sebagai Penghasil dan Pengguna Energi Terbarukan, *Perspektif*, **6**(2); 84 – 92.
- Ramdja, A.F., Halim, M. dan Handi, J., 2008, Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepeh Kelapa (*Cocus nucifera*), *J. Tek. Kim.*, **15** (2); 1-8.
- Ramli, T.A., 2015, *Sintesis Dan Karakterisasi Karbon Nanopori Sekam Padi (*Oryza sativa*) Melalui Iradiasi Ultrasonik Dengan Aktivator KOH Sebagai Bahan Kapasitor Elektrokimia*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Rosi, M., Ekaputra, M.P., Iskandar, M., Abdullah, M., Khairurrijal, 2012, *Superkapasitor Menggunakan Polimer Hidrogel Elektrolit dan Elektroda Nanopori Karbon*, Prosiding Seminar Nasional Material, Fisika, ITB.
- Rosi, M., Iskandar, F., Abdullah, M. dan Khairurrijal, 2013, *Sintesis Nanopori Karbon dengan Variasi Jumlah NaOH dan Aplikasinya sebagai Superkapasitor*, Seminar Nasional Material, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Salunkhe, R.R., Ahn, H., Kim, J.H., and Yamauchi, Y., 2015, Rational design of coaxial structured carbon nanotube-manganese oxide (CNT-MnO<sub>2</sub>) for energy storage application, *Nanotechnology*, **26**; 7pp.
- Supartha, I.N.Y., Wijana, G., dan Adnyana, G.M., 2012, Aplikasi Jenis Pupuk Organik pada Tanaman Padi Sistem Pertanian Organik, *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, **1**(2): 98-106.
- Surest, A.H., Kasih, J.A.F. dan Wisanti, A., 2008, Pengaruh Suhu, Konsentrasi Zat Aktivator dan Waktu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri, *J. Tek. Kim.*, **15** (2): 17-21.
- Syarif, N., 2014, *Pengembangan Kapasitor Lapis Ganda Elektrokimia dari Karbon Aktif Kayu Gelam*, Disertasi, Universitas Indonesia.
- Tanaka, K., Aoki, H., Ago, H., Yamake, T. and Okahara, K., 1997, Interlayer Interaction of Two Graphene Sheets as A Model of Double Layer Carbon Nanotubes, *Carbon*, **35** (1); 121-125.
- Tjitrosoepomo, G., 2011, Taksonomi Tumbuhan Spermatophyta, Universitas Gajah Mada Press, Yogyakarta.
- Ummah, S., Prasetyo, A., dan Barroroh, H., 2010, Kajian Penambahan Abu Sekam Padi dari Berbagai Suhu Pengabuan Terhadap Plastisitas Kaolin, *Alchemy*, **1** (2): 52-103.

- Viscarini, V.P., Rokhima, N., Yuwana, M., dan Setyawan, H., 2014, Sintesa Partikel MnO<sub>2</sub> dengan Teknik Elektrokimia dalam Sel Membran, *Jurnal Teknik Pomits*, **2** (1): 1-5.
- Vytras, K., Svancara, I. and Metelka, R., 2009, Carbon Paste Electrodes in Electroanalytical Chemistry, *J. Serb. Chem. Soc.*, **74** (10), 1021-1033.
- Wachid, M.R. dan Setiarso, P., 2014, Pembuatan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Bentonit untuk Analisis Ion Logam Tembaga(II) secara Cyclic Voltammetry Stripping, Prosiding Seminar Nasional Kimia, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 20 September.
- Wang, J., Xin, H.L., and Wang D., 2013, Recent Progress on Mesoporus Carbon Materials for Advanced Energy Conversion and Storage, *Part. Syst. Charact.*, 1-25.
- Winter, M. and Brodd, R.J., 2004, What Are Batteries, Fuel Cells and Supercapacitors?, *Chem. Rev.*, **104** (10), 4245-4269.
- Xu, P., Wei, B., Cao, Z., Zheng, J., Gong, K., Li, F., Yu, J., Li, Q., Lu, W., Byun, J.H., Kim, B.S., Yan, Y., and Chou, T.W., 2015, Stretchable Wire-Shaped Assymetric Supercapacitors Based on Pristine and MnO<sub>2</sub> Coated carbon Nanotube Fibers, *ACS Nano*, **9**(6); 6088-6096.
- Zakir, M., 2013, *Ultrasound-assisted adsorbtion of lead (II) and Copper (II) ions on rice husk activated carbon*, Proceeding of The International Conference on Quality in Research, Yogyakarta, 25-28 Juni 2013.
- Zakir, M., Maming, Raya, I., Karim, A. dan Santi, 2012, Pemanfaatan Energi Gelombang Ultrasonik dalam Adsorpsi Ion Logam Berat Cu(II) pada Biosorben Karbon Aktif dari Sekam Padi, *Indo. Chim. Acta*, **5** (2), 1-9.
- Zakir, M., Sekine, T., Takayama, T., Kudo, H., Lin, M. and Katsumura, Y., 2005, Technetium(IV) Oxide Colloids and The Precursor Produced by Bremsstrahlung Irradiation of Aqueous Pertechnetate Solution, *J. Nucl. Radiochem. Sci.*, **6** (3), 243-247.
- Zhang, X., Sun, X., Zhang, H., Zhang, D., dan Ma, Y., 2012, Development of redox deposition of birnessite-type MnO<sub>2</sub> on activated carbon as high-performance electrode for hybrid supercapacitors, *Material Chemistry and Physics*, **137**; 290-296.
- Zhou, J., Ji, Y., He, J., Zhang, C., dan Zhao, G., 2008, Enhanced mesoporosity and capacitance property of spherical carbon aerogel prepared by associating Mg(OH)<sub>2</sub> with non-ionic surfactant, *Micropor. Mesopor. Mater.* **114**; (424-430).

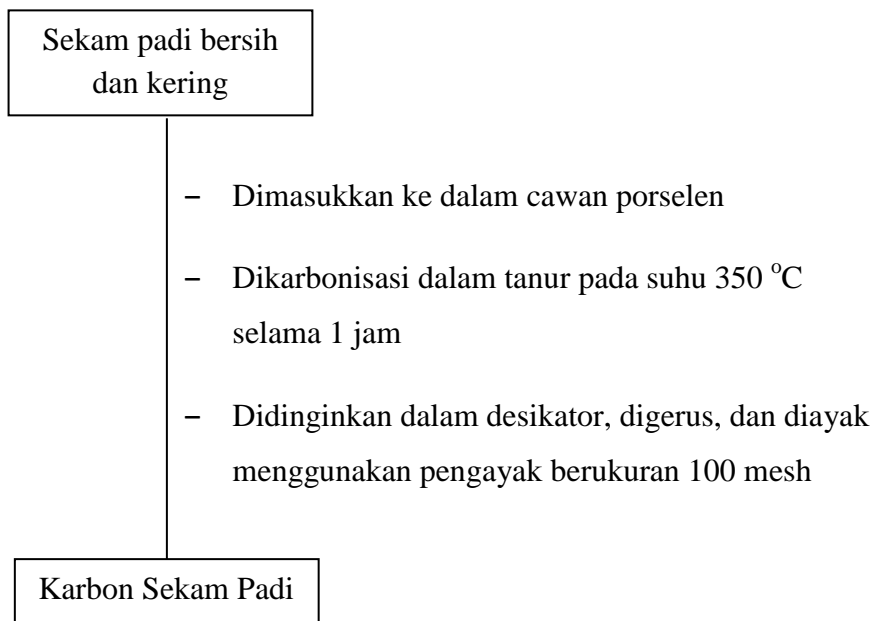
## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Skema Prosedur Kerja

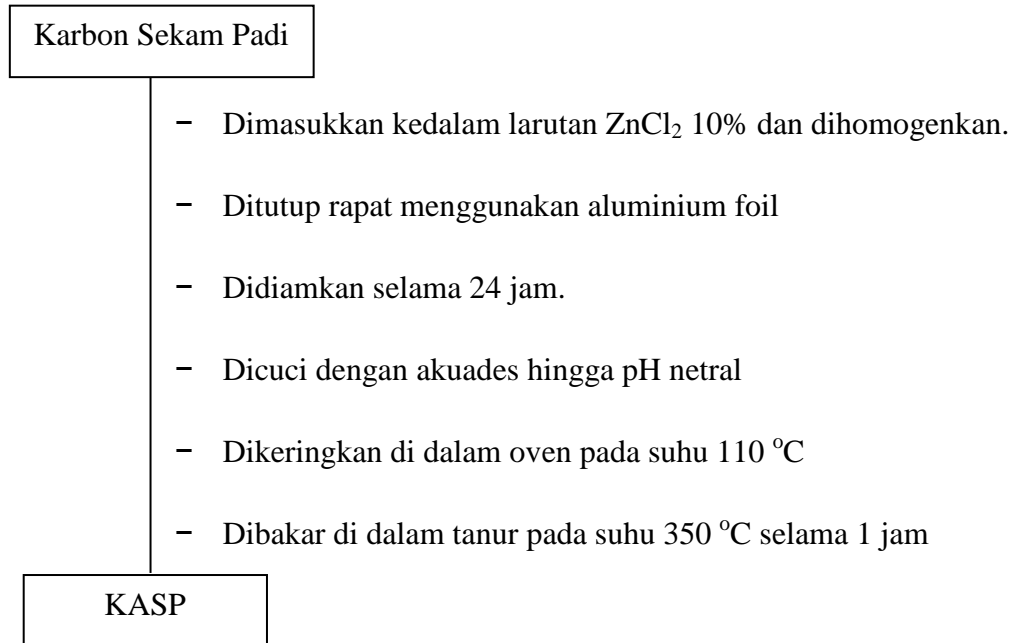
#### a. Preparasi Sampel



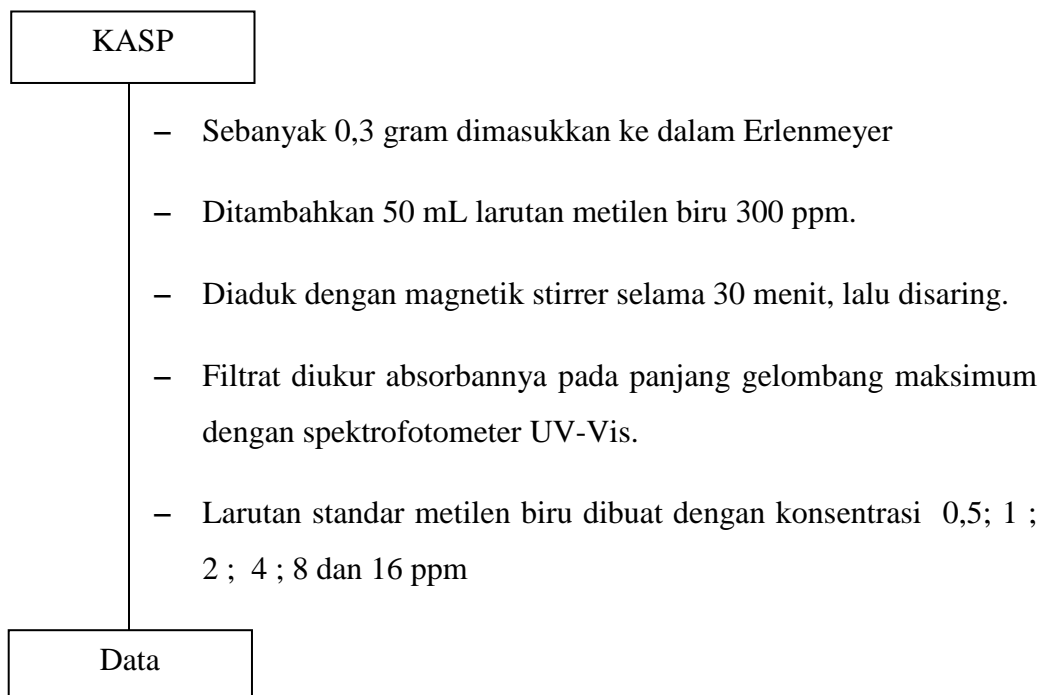
#### b. Karbonisasi



### c. Aktivasi

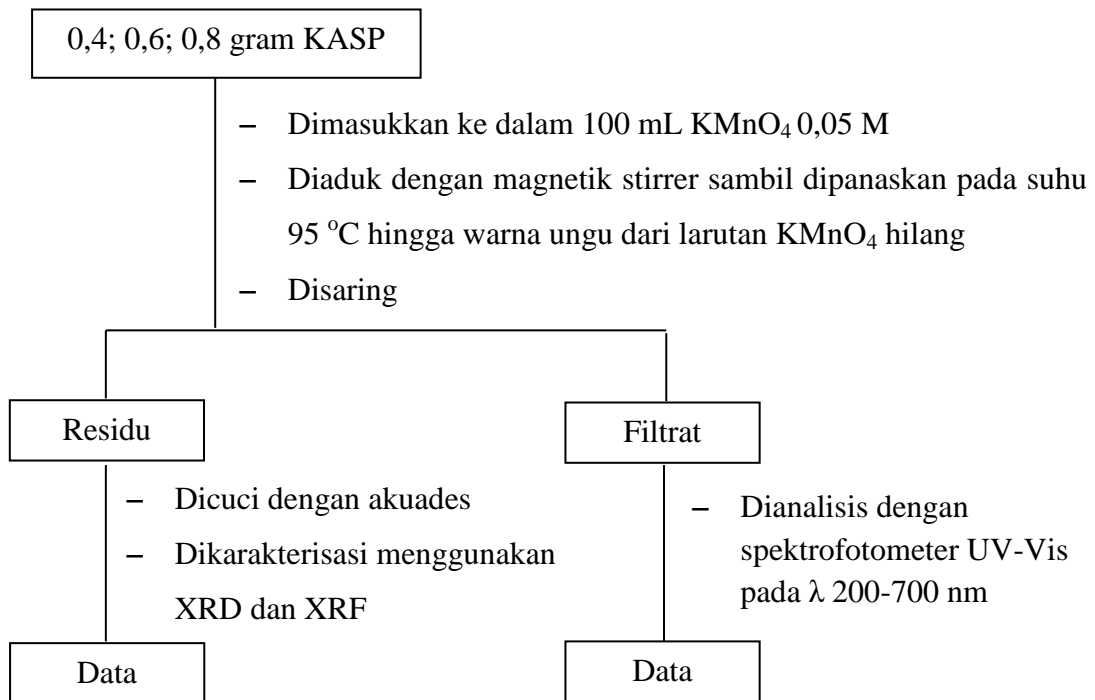


### d. Penentuan Luas Permukaan

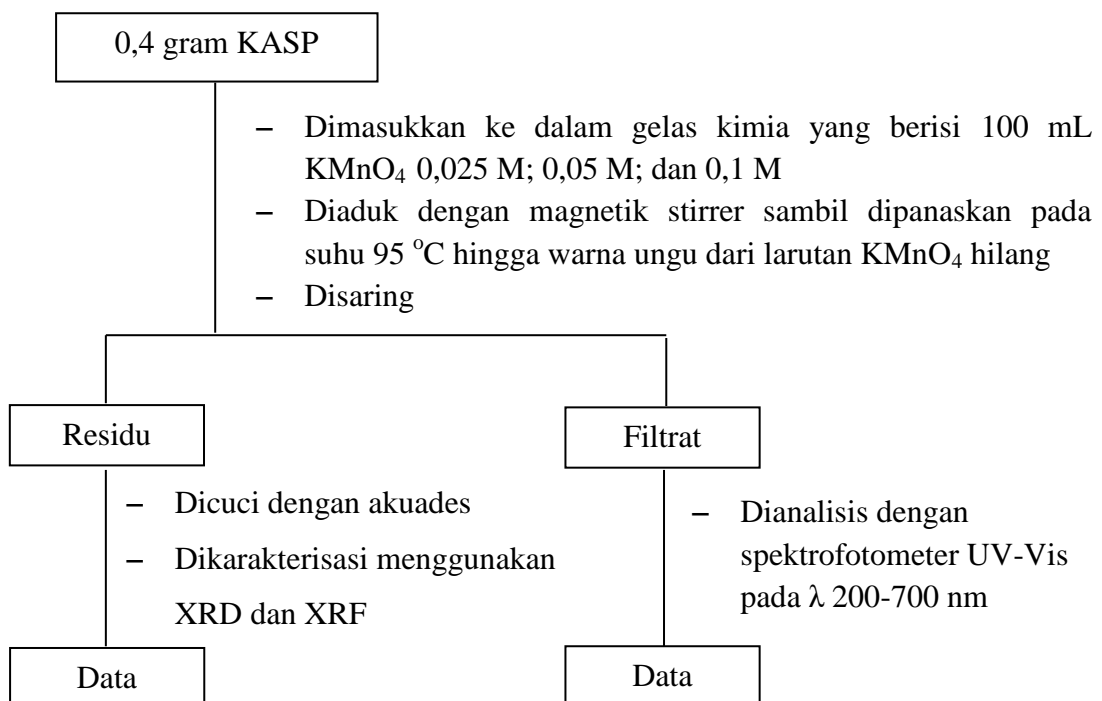


## e. Deposisi MnO<sub>2</sub>

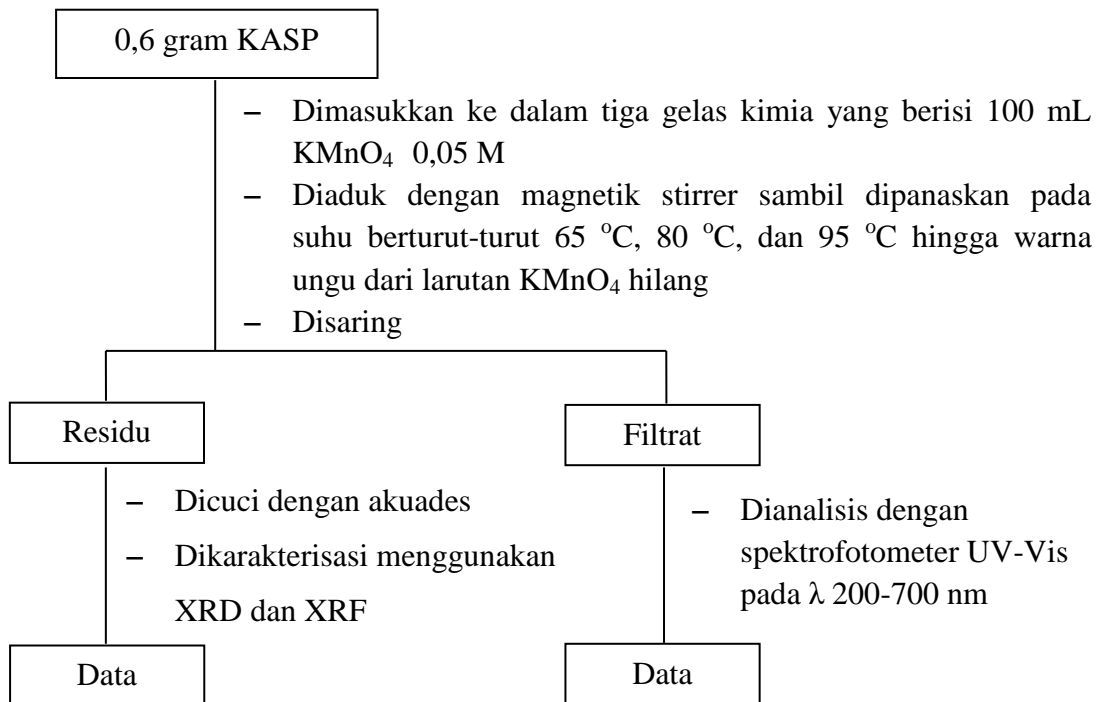
### 1. Pengaruh Massa KASP



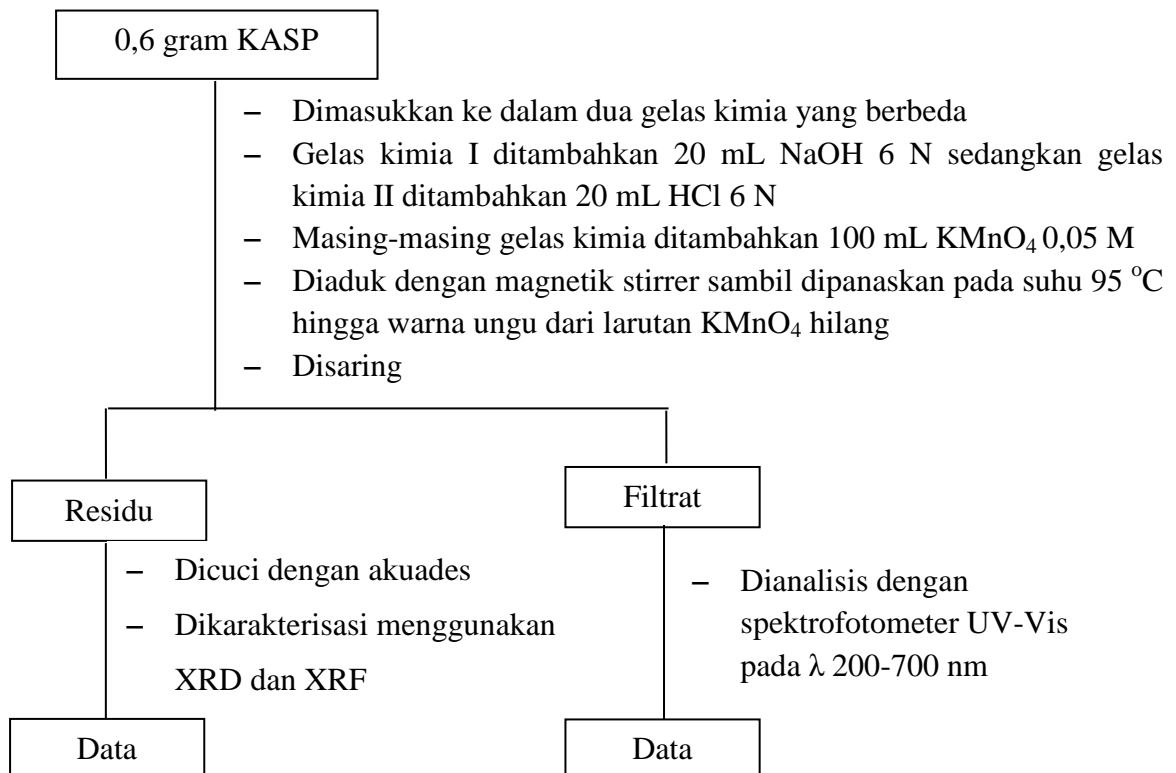
### 2. Pengaruh Konsentrasi KMnO<sub>4</sub>



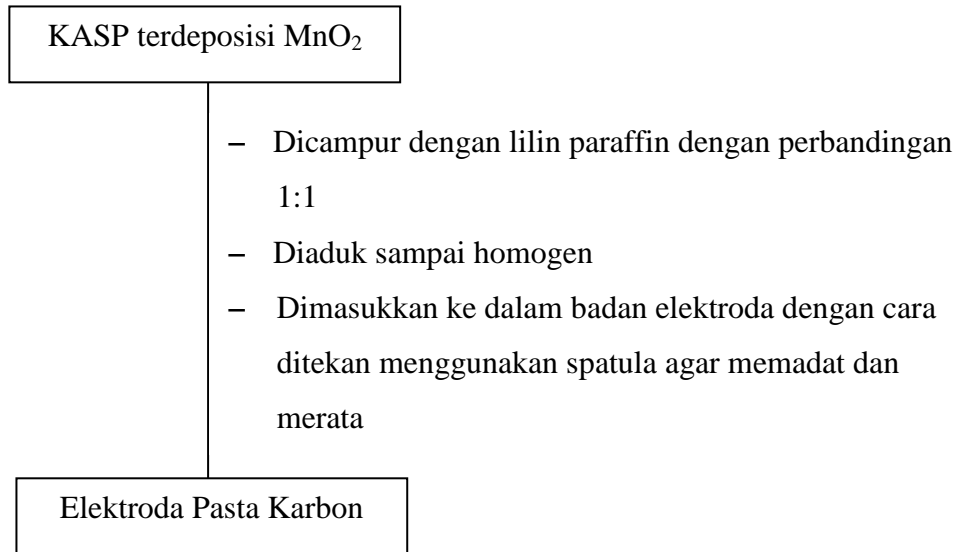
### 3. Pengaruh Suhu



### 4. Pengaruh pH

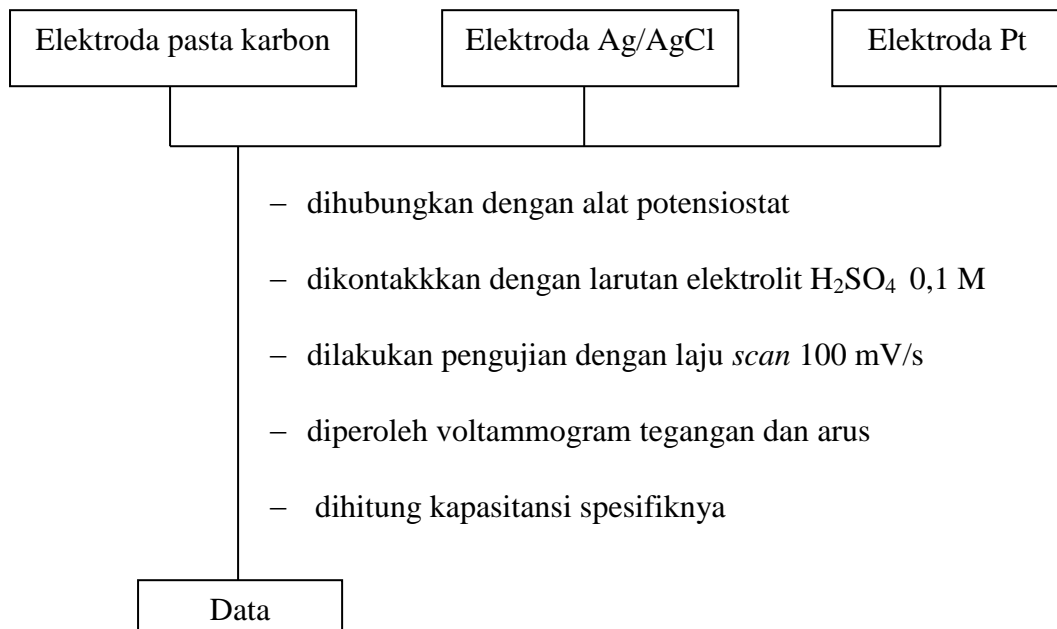


#### f. Pembuatan Elektroda



Catatan: Badan elektroda dibuat dengan menyambungkan kawat tembaga dan kawat platina menggunakan solder uap. Kemudian dimasukkan kedalam pipet. Selanjutnya direkatkan dengan parafilm.

#### g. Pengukuran Nilai Kapasitansi Spesifik

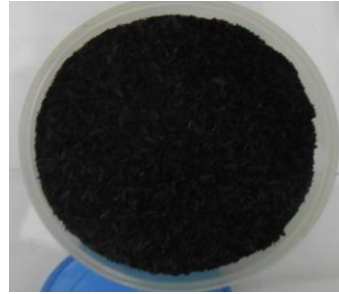




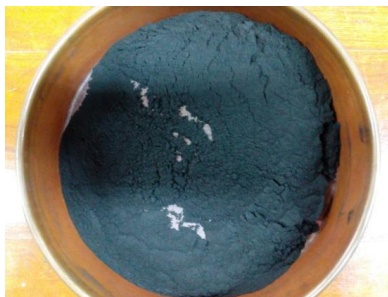
## Lampiran 2. Dokumentasi Kegiatan Penelitian



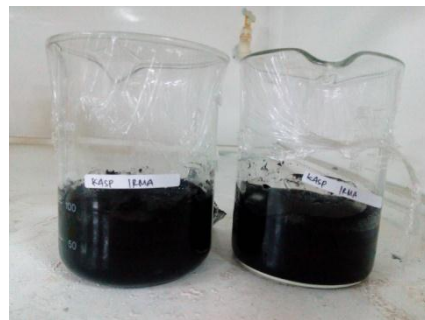
Sampel sekam padi



Karbon sekam padi



Karbon sekam padi yang telah diayak dengan pengayak 100 mesh



Proses aktivasi karbon sekam padi



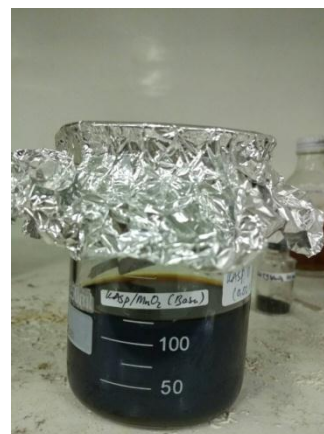
Karbon aktif sekam padi



Deret standar metilen biru



Proses deposisi  $MnO_2$



Setelah deposisi  $MnO_2$



Proses penyaringan karbon aktif terdeposisi  $\text{MnO}_2$



Proses pencucian karbon aktif terdeposisi  $\text{MnO}_2$



Filtrat sebelum dan setelah deposisi  $\text{MnO}_2$



Badan elektroda

### Lampiran 3. Perhitungan Luas Permukaan Karbon Aktif

$$X_m = \frac{(C_o - C_e) \times V \text{ larutan (L)}}{\text{Massa Karbon Aktif (g)}}$$

$$S = \frac{X_m \cdot N \cdot a}{M_r}$$

#### 1. Luas Permukaan Karbon Sekam Padi Sebelum Aktivasi

$$y = 0,1596x + 0,1289$$

$$0,310 = 0,1596x + 0,1289$$

$$x = C_e = 1,1342 \text{ ppm} \times \text{fp } 200x = 226,8342 \text{ ppm}$$

$$X_m = \frac{(C_o - C_e) \times V \text{ larutan (L)}}{\text{Massa Karbon Aktif (g)}}$$
$$= \frac{(300 \text{ ppm} - 226,8342 \text{ ppm}) \times 0,050 \text{ L}}{0,3 \text{ g}}$$

$$= 12,1943 \text{ mg/g}$$

$$S = \frac{X_m \cdot N \cdot a}{M_r}$$

$$= \frac{12,1943 \text{ g/mg} \times 6,02 \cdot 10^{23} / \text{mol} \times 197 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2}{320,5 \text{ g/mol}}$$

$$= 45,1225 \text{ m}^2/\text{g}$$

#### 2. Luas Permukaan Karbon Sekam Padi Setelah Aktivasi

$$y = 0,1596x + 0,1289$$

$$0,237 = 0,1596x + 0,1289$$

$$x = C_e = 0,6804 \text{ ppm} \times \text{fp } 200x = 226,8342 \text{ ppm}$$

$$X_m = \frac{(C_o - C_e) \times V \text{ larutan (L)}}{\text{Massa Karbon Aktif (g)}}$$

$$= \frac{(300 \text{ ppm} - 136,0836 \text{ ppm}) \times 0,050 \text{ L}}{0,3 \text{ g}}$$

$$= 27,3194 \text{ mg/g}$$

$$S = \frac{X_m \cdot N \cdot a}{M_r}$$

$$= \frac{27,3194 \text{ g/mg} \times 6,02 \cdot 10^{23} / \text{mol} \times 197 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2}{320,5 \text{ g/mol}}$$

$$= 101,0895 \text{ m}^2/\text{g}$$

## Lampiran 4. Perhitungan Kapasitansi Spesifik

### 1. Pengaruh Massa Karbon Aktif terhadap Proses Deposisi MnO<sub>2</sub>

| Elektroda Pasta Karbon      | I <sub>c</sub> (mA) | I <sub>d</sub> (mA) | V (Volt) | C <sub>s</sub> (mF/g) |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|----------|-----------------------|
| KASP                        | 0,0000197           | -0,0000121          | 0,1      | 0,0106                |
| KASP 0,4 g/MnO <sub>2</sub> | 0,0000184           | -0,0000110          | 0,1      | 0,0097                |
| KASP 0,6 g/MnO <sub>2</sub> | 0,0113              | -0,0652             | 0,1      | 25,5019               |
| KASP 0,8 g/MnO <sub>2</sub> | 0,0108              | -0,0822             | 0,1      | 30,9914               |

Keterangan: Massa karbon = 0,03 g

$$C_s = \frac{I_c - I_d}{v \times m}$$

#### a. Karbon Aktif Sekam Padi (KASP)

$$C_s = \frac{0,0000197 \text{ mA} - (-0,0000121 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 0,0106 \text{ mF/g}$$

#### b. KASP 0,4 g/MnO<sub>2</sub>

$$C_s = \frac{0,0000184 \text{ mA} - (-0,0000110 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 0,0097 \text{ mF/g}$$

#### c. KASP 0,6 g/MnO<sub>2</sub>

$$C_s = \frac{0,0113 \text{ mA} - (-0,0652 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 25,5019 \text{ mF/g}$$

#### d. KASP 0,8 g/MnO<sub>2</sub>

$$C_s = \frac{0,0108 \text{ mA} - (-0,0822 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 30,9914 \text{ mF/g}$$

## 2. Pengaruh Konsentrasi $\text{KMnO}_4$ terhadap Proses Deposisi $\text{MnO}_2$

| Elektroda Pasta Karbon                          | $I_c$ (mA) | $I_d$ (mA) | V (Volt) | $C_s$ (mF/g) |
|---|------------|------------|----------|--------------|
| KASP  | 0,0000197  | -0,0000121 | 0,1      | 0,0106       |
| KASP/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,002 M) | 0,00088    | -0,0031    | 0,1      | 1,3289       |
| KASP/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,005 M) | 0,0113     | -0,0652    | 0,1      | 25,5019      |
| KASP/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,008 M) | 0,00914    | -0,00663   | 0,1      | 5,2582       |

Keterangan: Massa karbon = 0,03 g

$$C_s = \frac{I_c - I_d}{v \times m}$$

### a. KASP/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,02 M)

$$C_s = \frac{0,00088 \text{ mA} - (-0,0031 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 1,3289 \text{ mF/g}$$

### b. KASP/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,05 M)

$$C_s = \frac{0,0113 \text{ mA} - (-0,0652 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 25,5019 \text{ mF/g}$$

### c. KASP/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,08 M)

$$C_s = \frac{0,00914 \text{ mA} - (-0,00663 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 5,2582 \text{ mF/g}$$

## 3. Pengaruh suhu terhadap Proses Deposisi $\text{MnO}_2$

| Elektroda Pasta Karbon       | $I_c$ (mA) | $I_d$ (mA) | V (Volt) | $C_s$ (mF/g) |
|------------------------------|------------|------------|----------|--------------|
| KASP                         | 0,0000197  | -0,0000121 | 0,1      | 0,0106       |
| KASP/ $\text{MnO}_2$ (65 °C) | 0,0301     | -0,0229    | 0,1      | 17,6597      |
| KASP/ $\text{MnO}_2$ (80 °C) | 0,0343     | -0,0313    | 0,1      | 21,8541      |
| KASP/ $\text{MnO}_2$ (95 °C) | 0,0113     | -0,0652    | 0,1      | 25,5019      |

Keterangan: Massa karbon = 0,03 g

$$C_s = \frac{I_c - I_d}{v \times m}$$

**a. KASP/MnO<sub>2</sub> (65 °C)**

$$C_s = \frac{0,0301 \text{ mA} - (-0,0229 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 17,6597 \text{ mF/g}$$

**b. KASP/MnO<sub>2</sub> (80 °C)**

$$C_s = \frac{0,0343 \text{ mA} - (-0,0313 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 21,8541 \text{ mF/g}$$

**c. KASP/MnO<sub>2</sub> (95 °C)**

$$C_s = \frac{0,0113 \text{ mA} - (-0,0652 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 25,5019 \text{ mF/g}$$

**4. Pengaruh pH terhadap Proses Deposisi MnO<sub>2</sub>**

| <b>Elektroda Pasta Karbon</b>  | <b>I<sub>c</sub> (mA)</b> | <b>I<sub>d</sub> (mA)</b> | <b>V (Volt)</b> | <b>C<sub>s</sub> (mF/g)</b> |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|
| KASP                           | 0,0000197                 | -0,0000121                | 0,1             | 0,0106                      |
| KASP/MnO <sub>2</sub> (Asam)   | 0,0301                    | -0,0229                   | 0,1             | 17,6597                     |
| KASP/MnO <sub>2</sub> (Basa)   | 0,0343                    | -0,0313                   | 0,1             | 21,8541                     |
| KASP/MnO <sub>2</sub> (Netral) | 0,0113                    | -0,0652                   | 0,1             | 25,5019                     |

Keterangan: Massa karbon = 0,03 g

$$C_s = \frac{I_c - I_d}{v \times m}$$

**a. KASP/MnO<sub>2</sub> (Asam)**

$$C_s = \frac{0,0301 \text{ mA} - (-0,0229 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 17,6597 \text{ mF/g}$$

**b. KASP/MnO<sub>2</sub> (Basa)**

$$C_s = \frac{0,0343 \text{ mA} - (-0,0313 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 21,8541 \text{ mF/g}$$

**c. KASP/MnO<sub>2</sub> (Netral)**

$$C_s = \frac{0,0113 \text{ mA} - (-0,0652 \text{ mA})}{0,1 \text{ V/s} \times 0,03 \text{ g}}$$

$$= 25,5019 \text{ mF/g}$$



## Lampiran 5. Perhitungan Ukuran Partikel

Persamaan Schreerer:

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos\theta}$$

Keterangan:

D = Ukuran partikel (nm)

K = Faktor bentuk dari kristal (0,98)

$\lambda$  = Panjang gelombang dari sinar X (1,54056 Å)

$\beta$  = Nilai FWHM (rad) =  $(\beta_{ins}^2 - \beta_{match}^2)^{1/2}$

$\theta$  = Sudut Bragg/sudut difraksi ( $2\theta/2$ )

### A. Pengaruh massa KASP terhadap deposisi MnO<sub>2</sub>

#### 1. KASP 0,6 g/MnO<sub>2</sub>

| 2 $\theta$                | $\beta$ (Instrumen) | $\beta$ (Match) | $\beta$ (Derajat) | $\beta$ (Radian) | D (nm)  |
|---------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|------------------|---------|
| 36,76                     | 1,71                | 0,16            | 1,7025            | 0,0297           | 5,3569  |
| 64,90                     | 0,48                | 0,16            | 1,4525            | 0,0079           | 22,6633 |
| Ukuran partikel rata-rata |                     |                 |                   |                  | 14,0101 |

#### 2. KASP 0,8 g/MnO<sub>2</sub>

| 2 $\theta$                | $\beta$ (Instrumen) | $\beta$ (Match) | $\beta$ (Derajat) | $\beta$ (Radian) | D (nm)  |
|---------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|------------------|---------|
| 36,98                     | 1,60                | 0,16            | 1,5920            | 0,0278           | 5,7324  |
| 65,5                      | 0,30                | 0,16            | 0,2538            | 0,0044           | 40,4828 |
| Ukuran partikel rata-rata |                     |                 |                   |                  | 23,1076 |

### B. Pengaruh konsentrasi KMnO<sub>4</sub> terhadap deposisi MnO<sub>2</sub>

#### 1. KASP/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,02 M)

| 2 $\theta$                | $\beta$ (Instrumen) | $\beta$ (Match) | $\beta$ (Derajat) | $\beta$ (Radian) | D (nm)  |
|---------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|------------------|---------|
| 38,14                     | 1,14                | 0,16            | 1,1287            | 0,0197           | 8,1131  |
| 65,38                     | 0,68                | 0,16            | 0,6609            | 0,0115           | 15,5600 |
| Ukuran partikel rata-rata |                     |                 |                   |                  | 11,8365 |

## 2. KASP/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,05 M)

| <b>2θ</b>                 | <b>β (Instrumen)</b> | <b>β (Match)</b> | <b>β (Derajat)</b> | <b>β (Radian)</b> | <b>D (nm)</b> |
|---------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| 36,76                     | 1,71                 | 0,16             | 1,7025             | 0,0297            | 5,3569        |
| 64,90                     | 0,48                 | 0,16             | 1,4525             | 0,0079            | 22,6633       |
| Ukuran partikel rata-rata |                      |                  |                    |                   | 14,0101       |

## 3. KASP/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,08 M)

| <b>2θ</b>                 | <b>β (Instrumen)</b> | <b>β (Match)</b> | <b>β (Derajat)</b> | <b>β (Radian)</b> | <b>D (nm)</b> |
|---------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| 37,20                     | 0,4178               | 0,16             | 0,3859             | 0,0067            | 23,6606       |
| 64,90                     | 0,2844               | 0,16             | 0,2351             | 0,0041            | 43,6206       |
| Ukuran partikel rata-rata |                      |                  |                    |                   | 33,6206       |

## C. Pengaruh suhu terhadap deposisi MnO<sub>2</sub>

### 1. KASP/MnO<sub>2</sub> (65 °C)

| <b>2θ</b>                 | <b>β (Instrumen)</b> | <b>β (Match)</b> | <b>β (Derajat)</b> | <b>β (Radian)</b> | <b>D (nm)</b> |
|---------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| 36,86                     | 1,40                 | 0,16             | 1,3908             | 0,0243            | 6,5592        |
| 65,80                     | 0,96                 | 0,16             | 0,9466             | 0,0165            | 10,8899       |
| Ukuran partikel rata-rata |                      |                  |                    |                   | 8,7245        |

### 2. KASP/MnO<sub>2</sub> (80 °C)

| <b>2θ</b>                 | <b>β (Instrumen)</b> | <b>β (Match)</b> | <b>β (Derajat)</b> | <b>β (Radian)</b> | <b>D (nm)</b> |
|---------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| 36,8600                   | 1,24                 | 0,16             | 1,2296             | 0,0215            | 7,4191        |
| 64,4550                   | 0,67                 | 0,16             | 0,6506             | 0,0113            | 15,7252       |
| Ukuran partikel rata-rata |                      |                  |                    |                   | 11,5721       |

### 3. KASP/MnO<sub>2</sub> (95 °C)

| <b>2θ</b>                 | <b>β (Instrumen)</b> | <b>β (Match)</b> | <b>β (Derajat)</b> | <b>β (Radian)</b> | <b>D (nm)</b> |
|---------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| 36,76                     | 1,71                 | 0,16             | 1,7025             | 0,0297            | 5,3569        |
| 64,90                     | 0,48                 | 0,16             | 1,4525             | 0,0079            | 22,6633       |
| Ukuran partikel rata-rata |                      |                  |                    |                   | 14,0101       |

## D. Pengaruh pH terhadap deposisi MnO<sub>2</sub>

### 1. KASP/MnO<sub>2</sub> (Asam)

| <b>2θ</b>                 | <b>β (Instrumen)</b> | <b>β (Match)</b> | <b>β (Derajat)</b> | <b>β (Radian)</b> | <b>D (nm)</b> |
|---------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| 37,135                    | 1,17                 | 0,16             | 1,1590             | 0,0202            | 7,8775        |
| 64,560                    | 0,52                 | 0,16             | 0,4948             | 0,0086            | 20,6903       |
| Ukuran partikel rata-rata |                      |                  |                    |                   | 14,2839       |

## 2. KASP/MnO<sub>2</sub> (Basa)

| <b>2θ</b>                 | <b>β (Instrumen)</b> | <b>β (Match)</b> | <b>β (Derajat)</b> | <b>β (Radian)</b> | <b>D (nm)</b> |
|---------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| 37,86                     | 0,860                | 0,16             | 0,8450             | 0,0147            | 10,8282       |
| 65,30                     | 0,880                | 0,16             | 0,8653             | 0,0151            | 11,8788       |
| Ukuran partikel rata-rata |                      |                  |                    |                   | 11,3535       |

## 3. KASP/MnO<sub>2</sub> (Netral)

| <b>2θ</b>                 | <b>β (Instrumen)</b> | <b>β (Match)</b> | <b>β (Derajat)</b> | <b>β (Radian)</b> | <b>D (nm)</b> |
|---------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| 36,76                     | 1,71                 | 0,16             | 1,7025             | 0,0297            | 5,3569        |
| 64,90                     | 0,48                 | 0,16             | 1,4525             | 0,0079            | 22,6633       |
| Ukuran partikel rata-rata |                      |                  |                    |                   | 14,0101       |

## Lampiran 6. Data Hasil Karakterisasi XRD

### 1. Karbon Aktif Sekam Padi (KASP)

```

*** Basic Data Process ***

Group      : Standard
Data       : Chem#KASP

# Strongest 3 peaks
no. peak   2Theta      d          I/I1      FWHM      Intensity  Integrated Int
          (deg)        (A)                (deg)      (Counts)  (Counts)
  1      9      21.2200    4.18362   100      0.00000    259      0
  2     10      22.1400    4.01181   93       0.00000    241      0
  3      8      20.2200    4.38821   89       0.00000    231      0

# Peak Data List
peak       2Theta      d          I/I1      FWHM      Intensity  Integrated Int
no.        (deg)        (A)                (deg)      (Counts)  (Counts)
  1     12.9500    6.83074    4         0.50000    10        279
  2     13.4800    6.56334    5         0.40000    12        253
  3     14.3400    6.17160    5         0.52000    13        418
  4     15.9000    5.56942   20        1.28000    53       3474
  5     16.5200    5.36177   25         0.00000    66         0
  6     17.7200    5.00128   46         0.00000   120         0
  7     19.4000    4.57180   79         0.00000   204         0
  8     20.2200    4.38821   89         0.00000   231         0
  9     21.2200    4.18362  100         0.00000   259         0
 10     22.1400    4.01181   93         0.00000   241         0
 11     23.3000    3.81464   86         0.00000   222         0
 12     24.3000    3.65987   65         0.00000   169         0
 13     25.3000    3.51744   51         0.00000   132         0
 14     25.9800    3.42689   39         1.89000   102       7800
 15     27.6400    3.22473   15         1.08000    39       2531
 16     28.8800    3.08903    9         0.52000    23        804
 17     29.8800    2.98789    3         0.36000    8         215
 18     31.0900    2.87431    5         0.54000   13         350
 19     34.0075    2.63410    7         0.49500   18         566
 20     35.9700    2.49475    5         0.48000   13         406
 21     37.7900    2.37868   20         0.54000   52       1291
 22     39.5040    2.27933   14         0.59200   37       1016
 23     42.6500    2.11820    5         0.42000   14         551
 24     44.0193    2.05543   49         0.57640  126       3676
 25     45.0900    2.00908    5         0.22000   14         412
 26     50.1000    1.81928    3         0.28000    8         143
 27     57.4616    1.60247   16         0.57670   42       1405
 28     62.5250    1.48432    4         0.23000   11         205
 29     63.4150    1.46561    5         0.25000   13         275
 30     64.3901    1.44575   67         0.56370  173       4713
 31     65.3050    1.42769    5         0.39000   13         410
 32     67.0900    1.39398    3         0.30000    9         328
 33     68.7623    1.36410   25         0.54740   66       1851

```

```

*** Basic Data Process ***

# Data Infomation
Group      : Standard
Data       : Chem#KASP
Sample Nmae : serbuk
Comment    :
Date & Time : 02-08-17 09:41:16

# Measurement Condition
X-ray tube
target     : Cu
voltage    : 40.0 (kV)
current    : 30.0 (mA)

Slits
Auto Slit  : Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit  : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.30000(mm)

Scanning
drive axis  : Theta-2Theta
scan range  : 10.0000 - 70.0000 (deg)
scan mode   : Continuous Scan
scan speed  : 2.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time : 0.60 (sec)

# Data Process Condition
Smoothing   [ AUTO ]
smoothing points : 51
B.G.Subtraction [ AUTO ]
sampling points : 51
repeat times   : 30
Kal-a2 Separate [ MANUAL ]
Kal a2 ratio   : 50 (%)
Peak Search   [ AUTO ]
differential points : 51
FWHM threshold : 0.050 (deg)
intensity threshold : 30 (par mil)
FWHM ratio (n-1)/n : 2
System error Correction [ NO ]
Precise peak Correction [ NO ]

```

## 2. Pengaruh Massa Karbon Aktif terhadap Proses Deposisi MnO<sub>2</sub>

### a. KASP 0,4 g/MnO<sub>2</sub>

```

*** Basic Data Process ***

Group      : Standard
Data       : Chem#KASPMnO2#04Gram

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
          (deg)      (A)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
1         8         44.0598  2.05364 100    0.17400   923     9014
2        13         64.4293  1.44496  67     0.19520   622     6432
3         4         37.8240  2.37662  62     0.18250   569     6026
  
```

```

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (A)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
1         27.3153    3.26232   6     0.14190    54        446
2         33.9744    2.63659  17     0.13710    157       1375
3         36.0787    2.48749   4     0.12250    35        339
4         37.8240    2.37662   62     0.18250   569       6026
5         39.5411    2.27728  27     0.15130   252       2229
6         39.8035    2.26287   4     0.07290    35        163
7         43.7200    2.06881   4     0.15600    39        637
8         44.0598    2.05364  100    0.17400   923       9014
9         46.5750    1.94842   3     0.11000    28        298
10        57.5005    1.60148  20     0.16280   186       1746
11        57.8505    1.59262   5     0.11710    42        249
12        64.0800    1.45200   5     0.18860    42        756
13        64.4293    1.44496   67     0.19520   622       6432
14        64.7200    1.43917   5     0.11780    43        417
15        68.5400    1.36798   3     0.08720    31        243
16        68.8359    1.36282  27     0.18860   251       2460
17        69.2603    1.35550   5     0.13660    50        332
  
```

```

*** Basic Data Process ***

# Data Infomation
Group      : Standard
Data       : Chem#KASPMnO2#04Gram
Sample Nmae : serbuk
Comment    :
Date & Time : 02-08-17 10:14:52

# Measurement Condition
X-ray tube
target     : Cu
voltage    : 40.0 (kV)
current    : 30.0 (mA)

Slits
Auto Slit  : Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.30000 (mm)

Scanning
drive axis : Theta-2Theta
scan range : 10.0000 - 70.0000 (deg)
scan mode  : Continuous Scan
scan speed : 2.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time : 0.60 (sec)

# Data Process Condition
Smoothing [ AUTO ]
smoothing points : 13
B.G.Subtruction [ AUTO ]
sampling points : 13
repeat times : 30
Kal-a2 Separate [ MANUAL ]
Kal a2 ratio : 50 (%)
Peak Search [ AUTO ]
differential points : 11
FWHM threshold : 0.050 (deg)
intensity threshold : 30 (par mil)
FWHM ratio (n-1)/n : 2
System error Correction [ NO ]
Precise peak Correction [ NO ]
  
```

## b. KASP 0,6 g/MnO<sub>2</sub>

\*\*\* Basic Data Process \*\*\*

Group : Standard  
Data : KASP#MnO2#06gram

| # Strongest 3 peaks |          |              |         |      |            |                    |                         |
|---------------------|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|
| no.                 | peak no. | 2Theta (deg) | d (A)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) |
| 1                   | 24       | 36.7600      | 2.44293 | 100  | 1.71000    | 102                | 7230                    |
| 2                   | 25       | 37.3800      | 2.40382 | 97   | 0.00000    | 99                 | 0                       |
| 3                   | 11       | 22.5200      | 3.94497 | 90   | 0.00000    | 92                 | 0                       |

| # Peak Data List |              |         |      |            |                    |                         |  |
|------------------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|--|
| peak no.         | 2Theta (deg) | d (A)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) |  |
| 1                | 11.0700      | 7.98621 | 9    | 0.10000    | 9                  | 81                      |  |
| 2                | 11.9100      | 7.42477 | 11   | 0.26000    | 11                 | 166                     |  |
| 3                | 12.8433      | 6.88724 | 3    | 0.04670    | 3                  | 13                      |  |
| 4                | 13.9300      | 6.35231 | 5    | 0.10000    | 5                  | 43                      |  |
| 5                | 14.9600      | 5.91719 | 10   | 0.28000    | 10                 | 253                     |  |
| 6                | 16.0483      | 5.51828 | 10   | 0.19670    | 10                 | 211                     |  |
| 7                | 17.5000      | 5.06365 | 26   | 0.88000    | 27                 | 1552                    |  |
| 8                | 18.5600      | 4.77678 | 44   | 1.28000    | 45                 | 2142                    |  |
| 9                | 19.9000      | 4.45805 | 61   | 1.84000    | 62                 | 6129                    |  |
| 10               | 21.1000      | 4.20714 | 78   | 0.00000    | 80                 | 0                       |  |
| 11               | 22.5200      | 3.94497 | 90   | 0.00000    | 92                 | 0                       |  |
| 12               | 23.6600      | 3.75740 | 78   | 0.00000    | 80                 | 0                       |  |
| 13               | 25.2200      | 3.52841 | 82   | 0.00000    | 84                 | 0                       |  |
| 14               | 26.4400      | 3.36830 | 61   | 0.00000    | 62                 | 0                       |  |
| 15               | 27.1000      | 3.28775 | 37   | 0.00000    | 38                 | 0                       |  |
| 16               | 27.9400      | 3.19079 | 35   | 0.94400    | 36                 | 2147                    |  |
| 17               | 29.3620      | 3.03941 | 24   | 0.51600    | 24                 | 917                     |  |
| 18               | 30.4000      | 2.93795 | 12   | 0.00000    | 12                 | 0                       |  |
| 19               | 30.7800      | 2.90254 | 21   | 0.46000    | 21                 | 644                     |  |
| 20               | 32.0200      | 2.79291 | 7    | 0.04000    | 7                  | 39                      |  |
| 21               | 32.6025      | 2.74433 | 24   | 0.47500    | 24                 | 703                     |  |
| 22               | 34.2000      | 2.61971 | 35   | 1.14660    | 36                 | 2231                    |  |
| 23               | 35.1000      | 2.55457 | 29   | 0.00000    | 30                 | 0                       |  |
| 24               | 36.7600      | 2.44293 | 100  | 1.71000    | 102                | 7230                    |  |
| 25               | 37.3800      | 2.40382 | 97   | 0.00000    | 99                 | 0                       |  |
| 26               | 38.8400      | 2.31676 | 62   | 1.88000    | 63                 | 8332                    |  |
| 27               | 40.1800      | 2.24253 | 37   | 0.00000    | 38                 | 0                       |  |
| 28               | 41.1400      | 2.19239 | 43   | 1.52000    | 44                 | 3289                    |  |
| 29               | 42.5400      | 2.12342 | 31   | 0.68000    | 32                 | 943                     |  |
| 30               | 43.3133      | 2.08729 | 32   | 0.85330    | 33                 | 1180                    |  |
| 31               | 44.2866      | 2.04365 | 23   | 0.53330    | 23                 | 613                     |  |
| 32               | 45.5900      | 1.98820 | 22   | 0.42000    | 22                 | 557                     |  |
| 33               | 46.3333      | 1.95802 | 25   | 0.36000    | 26                 | 627                     |  |
| 34               | 47.1100      | 1.92754 | 18   | 0.16000    | 18                 | 282                     |  |
| 35               | 48.8200      | 1.86394 | 13   | 0.08000    | 13                 | 214                     |  |
| 36               | 49.9525      | 1.82431 | 16   | 0.38500    | 16                 | 606                     |  |
| 37               | 50.9983      | 1.78932 | 16   | 0.46330    | 16                 | 406                     |  |
| 38               | 52.2100      | 1.75061 | 8    | 0.26000    | 8                  | 160                     |  |
| 39               | 53.0550      | 1.72470 | 16   | 0.59000    | 16                 | 495                     |  |
| 40               | 54.1833      | 1.69142 | 14   | 0.19330    | 14                 | 255                     |  |
| 41               | 55.2275      | 1.66189 | 17   | 0.16500    | 17                 | 379                     |  |
| 42               | 55.8800      | 1.64402 | 3    | 0.00000    | 3                  | 0                       |  |
| 43               | 56.6100      | 1.62454 | 10   | 0.28000    | 10                 | 391                     |  |
| 44               | 57.5700      | 1.59971 | 10   | 0.06000    | 10                 | 77                      |  |
| 45               | 58.3883      | 1.57923 | 19   | 0.37670    | 19                 | 386                     |  |
| 46               | 59.3400      | 1.55615 | 28   | 0.48000    | 29                 | 1087                    |  |
| 47               | 60.1800      | 1.53642 | 15   | 0.00000    | 15                 | 0                       |  |
| 48               | 60.4000      | 1.53135 | 15   | 0.24000    | 15                 | 302                     |  |
| 49               | 61.5966      | 1.50444 | 22   | 0.44670    | 22                 | 804                     |  |
| 50               | 63.2850      | 1.46831 | 20   | 0.55000    | 20                 | 671                     |  |
| 51               | 64.9000      | 1.43562 | 34   | 0.48000    | 35                 | 1064                    |  |
| 52               | 66.1783      | 1.41095 | 68   | 1.33670    | 69                 | 3713                    |  |

| peak no. | 2Theta (deg) | d (A)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) |
|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|
| 53       | 67.0600      | 1.39453 | 36   | 0.96000    | 37                 | 1609                    |
| 54       | 68.4666      | 1.36927 | 15   | 0.22670    | 15                 | 351                     |
| 55       | 69.3790      | 1.35347 | 19   | 0.29800    | 19                 | 385                     |

c. KASP 0,8 g/MnO<sub>2</sub>

\*\*\* Basic Data Process \*\*\*

Group : Standard  
Data : Chem#KASPMnO2#08Gram

| # Strongest 3 peaks |          |              |         |      |            |                    |                         |
|---------------------|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|
| no.                 | peak no. | 2Theta (deg) | d (A)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) |
| 1                   | 11       | 21.8000      | 4.07360 | 100  | 0.00000    | 98                 | 0                       |
| 2                   | 13       | 24.0000      | 3.70494 | 99   | 0.00000    | 97                 | 0                       |
| 3                   | 12       | 22.9000      | 3.88036 | 90   | 0.00000    | 88                 | 0                       |

| # Peak Data List |              |         |      |            |                    |                         |     |
|------------------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|-----|
| peak no.         | 2Theta (deg) | d (A)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) | Int |
| 1                | 12.0900      | 7.31463 | 4    | 0.06000    | 4                  | 24                      |     |
| 2                | 12.7666      | 6.92845 | 5    | 0.09330    | 5                  | 64                      |     |
| 3                | 13.7600      | 6.43040 | 6    | 0.00000    | 6                  | 0                       |     |
| 4                | 14.3790      | 6.15494 | 22   | 0.69800    | 22                 | 734                     |     |
| 5                | 15.3200      | 5.77894 | 14   | 0.72000    | 14                 | 596                     |     |
| 6                | 16.7200      | 5.29808 | 33   | 1.05340    | 32                 | 3939                    |     |
| 7                | 18.2000      | 4.87044 | 57   | 0.00000    | 56                 | 0                       |     |
| 8                | 18.7800      | 4.72131 | 61   | 0.00000    | 60                 | 0                       |     |
| 9                | 20.2000      | 4.39251 | 73   | 0.00000    | 72                 | 0                       |     |
| 10               | 20.9200      | 4.24293 | 81   | 0.00000    | 79                 | 0                       |     |
| 11               | 21.8000      | 4.07360 | 100  | 0.00000    | 98                 | 0                       |     |
| 12               | 22.9000      | 3.88036 | 90   | 0.00000    | 88                 | 0                       |     |
| 13               | 24.0000      | 3.70494 | 99   | 0.00000    | 97                 | 0                       |     |
| 14               | 24.9200      | 3.57020 | 86   | 0.00000    | 84                 | 0                       |     |
| 15               | 26.1400      | 3.40628 | 66   | 0.00000    | 65                 | 0                       |     |
| 16               | 26.6800      | 3.33855 | 67   | 1.28000    | 66                 | 5005                    |     |
| 17               | 28.4000      | 3.14014 | 38   | 0.00000    | 37                 | 0                       |     |
| 18               | 29.0800      | 3.06824 | 32   | 0.96000    | 31                 | 1932                    |     |
| 19               | 30.4800      | 2.93043 | 15   | 0.28000    | 15                 | 354                     |     |
| 20               | 31.9750      | 2.79674 | 11   | 0.09000    | 11                 | 110                     |     |
| 21               | 33.3090      | 2.68772 | 27   | 0.55800    | 26                 | 937                     |     |
| 22               | 34.1100      | 2.62641 | 27   | 0.62000    | 26                 | 858                     |     |
| 23               | 35.1200      | 2.55316 | 27   | 0.40000    | 26                 | 568                     |     |
| 24               | 35.8800      | 2.50080 | 38   | 0.84000    | 37                 | 1378                    |     |
| 25               | 36.9800      | 2.42890 | 80   | 1.60000    | 78                 | 4371                    |     |
| 26               | 37.6000      | 2.39026 | 67   | 0.00000    | 66                 | 0                       |     |
| 27               | 38.5800      | 2.33177 | 55   | 1.32000    | 54                 | 4371                    |     |
| 28               | 39.8000      | 2.26306 | 33   | 0.52000    | 32                 | 912                     |     |
| 29               | 40.8583      | 2.20685 | 31   | 0.98330    | 30                 | 1505                    |     |
| 30               | 42.2033      | 2.13958 | 22   | 0.56670    | 22                 | 652                     |     |
| 31               | 43.2933      | 2.08820 | 19   | 0.73330    | 19                 | 921                     |     |
| 32               | 44.1800      | 2.04833 | 8    | 0.00000    | 8                  | 0                       |     |
| 33               | 45.0200      | 2.01204 | 19   | 0.20000    | 19                 | 553                     |     |
| 34               | 46.3200      | 1.95856 | 8    | 0.16000    | 8                  | 224                     |     |
| 35               | 47.0900      | 1.92831 | 10   | 0.14000    | 10                 | 202                     |     |
| 36               | 48.0266      | 1.89287 | 12   | 0.18670    | 12                 | 198                     |     |
| 37               | 49.4066      | 1.84318 | 14   | 0.18670    | 14                 | 341                     |     |
| 38               | 50.6600      | 1.80048 | 7    | 0.16000    | 7                  | 110                     |     |
| 39               | 51.6358      | 1.76872 | 15   | 0.18170    | 15                 | 282                     |     |
| 40               | 52.5000      | 1.74162 | 12   | 0.24000    | 12                 | 214                     |     |
| 41               | 53.4066      | 1.71418 | 22   | 0.25330    | 22                 | 375                     |     |
| 42               | 54.1925      | 1.69116 | 19   | 0.53500    | 19                 | 656                     |     |
| 43               | 55.4650      | 1.65533 | 24   | 0.51000    | 24                 | 620                     |     |
| 44               | 56.0300      | 1.63997 | 17   | 0.38000    | 17                 | 386                     |     |
| 45               | 56.9840      | 1.61476 | 13   | 0.15200    | 13                 | 216                     |     |
| 46               | 58.0450      | 1.58775 | 18   | 0.29000    | 18                 | 375                     |     |
| 47               | 58.6266      | 1.57337 | 17   | 0.22670    | 17                 | 236                     |     |
| 48               | 59.9500      | 1.54177 | 23   | 1.06000    | 23                 | 1232                    |     |
| 49               | 62.1200      | 1.49302 | 4    | 0.08000    | 4                  | 34                      |     |
| 50               | 63.1966      | 1.47015 | 17   | 0.32670    | 17                 | 331                     |     |
| 51               | 63.8800      | 1.45606 | 16   | 0.26000    | 16                 | 255                     |     |
| 52               | 64.1600      | 1.45038 | 16   | 0.36000    | 16                 | 482                     |     |

| peak no. | 2Theta (deg) | d (A)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) | Int |
|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|-----|
| 53       | 65.2000      | 1.42974 | 36   | 0.30000    | 35                 | 792                     |     |
| 54       | 66.1000      | 1.41243 | 50   | 1.00000    | 49                 | 2866                    |     |
| 55       | 67.2200      | 1.39160 | 20   | 0.00000    | 20                 | 0                       |     |
| 56       | 68.1000      | 1.37574 | 23   | 0.68000    | 23                 | 1173                    |     |
| 57       | 69.6625      | 1.34866 | 11   | 0.16500    | 11                 | 162                     |     |

### 3. Pengaruh Konsentrasi $\text{KMnO}_4$ terhadap Proses Deposisi $\text{MnO}_2$

#### a. KASP/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,02 M)

```

*** Basic Data Process ***
Group      : Standard
Data       : KASP%MnO2#002m

# Strongest 3 peaks
no. peak   2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
   no.      (deg)         (Å)          (deg)    (Counts)  (Counts)
  1  14      23.9000      3.72021  100  0.00000    130         0
  2  13      23.0200      3.86040   90  0.00000    117         0
  3  15      24.9000      3.57303   90  0.00000    117         0

# Peak Data List
peak       2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
 no.        (deg)         (Å)          (deg)    (Counts)  (Counts)
  1    12.0400      7.34489   25  1.08000     32        1600
  2    12.9400      6.83599   22  0.71200     28         966
  3    13.8866      6.37206   12  0.38670     16         313
  4    14.8066      5.97814   10  0.30670     13         242
  5    15.6533      5.65663    7  0.06670      9          80
  6    16.5800      5.34250   15  0.18000     19         342
  7    17.8200      4.97344   28  1.24000     37        2361
  8    19.3600      4.58116   49  1.64000     64        4563
  9    20.0400      4.42722   65  0.00000     84          0
 10    20.6400      4.29985   83  0.00000    108          0
 11    21.6000      4.11087   88  0.00000    115          0
 12    22.2800      3.98692   88  0.00000    114          0
 13    23.0200      3.86040   90  0.00000    117          0
 14    23.9000      3.72021  100  0.00000    130          0
 15    24.9000      3.57303   90  0.00000    117          0
 16    26.7200      3.33364   62  0.00000     81          0
 17    27.6000      3.22932   41  1.36000     53        4267
 18    29.0390      3.07248   20  0.77800     26         987
 19    29.7400      3.00164   13  0.13340     17         228
 20    30.4666      2.93168    8  0.14670     10         211
 21    31.4200      2.84487    5  0.10000      7          44
 22    32.3336      2.76662    4  0.08130      5          23
 23    33.2000      2.69629   15  0.50000     19         457
 24    34.2700      2.61452   14  0.28000     18         306
 25    35.2175      2.54632   12  0.35500     15         280
 26    36.7200      2.44550   62  1.69500     81        5304
 27    37.4400      2.40011   41  0.00000     53          0
 28    38.1400      2.35765   35  1.14000     45        2878
 29    39.4200      2.28400   19  0.58400     25         782
 30    40.1200      2.24570   18  0.62830     24         593
 31    40.9200      2.20367   10  0.66000     13         508
 32    41.5000      2.17420    6  0.17720      8         109
 33    43.0400      2.09991   10  0.56000     13         586
 34    44.3533      2.04073    6  0.13330      8          98
 35    45.9366      1.97401    4  0.03330      5          16
 36    46.6533      1.94534    9  0.22670     12         238
 37    47.4250      1.91547    5  0.09000      6          60
 38    48.1716      1.88751   10  0.17670     13         177
 39    49.2033      1.85032   17  0.42670     22         535
 40    50.0733      1.82019   19  0.41330     25         593
 41    51.1150      1.78551   11  0.15000     14         242
 42    51.7800      1.76413    3  0.04000      4          52
 43    52.6650      1.73655   13  0.43000     17         474
 44    54.7433      1.67544    6  0.15330      8          79
 45    55.3083      1.65965    5  0.11670      7          58
 46    56.2566      1.63390    7  0.24670     9         145
 47    58.1900      1.58413   13  0.71340     17         654
 48    59.1600      1.56045   12  0.24000     15         215
 49    60.1050      1.53816   13  0.27000     17         288

peak       2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
 no.        (deg)         (Å)          (deg)    (Counts)  (Counts)
 50    61.3191      1.51381    5  0.06830      6          38
 51    62.6950      1.48070    8  0.33000     10         184
 52    64.3625      1.44630   18  0.86500     24        1036
 53    65.3800      1.42623   32  0.68000     42        1706
 54    66.1000      1.41243   25  0.00000     32          0
 55    66.6575      1.40197   27  0.35500     35        1296
 56    67.8000      1.38110    7  0.00000      9          0

```



b. KASP/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,05 M)

\*\*\* Basic Data Process \*\*\*

Group : Standard  
Data : KASP/MnO2#06gram

# Strongest 3 peaks

| no. | peak no. | 2Theta (deg) | d (Å)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated (Counts) | Int |
|-----|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|---------------------|-----|
| 1   | 24       | 36.7600      | 2.44293 | 100  | 1.71000    | 102                | 7230                |     |
| 2   | 25       | 37.3800      | 2.40382 | 97   | 0.00000    | 99                 | 0                   |     |
| 3   | 11       | 22.5200      | 3.94497 | 90   | 0.00000    | 92                 | 0                   |     |

# Peak Data List

| peak no. | 2Theta (deg) | d (Å)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated (Counts) | Int |
|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|---------------------|-----|
| 1        | 11.0700      | 7.98621 | 9    | 0.10000    | 9                  | 81                  |     |
| 2        | 11.9100      | 7.42477 | 11   | 0.26000    | 11                 | 166                 |     |
| 3        | 12.8433      | 6.88724 | 3    | 0.04670    | 3                  | 13                  |     |
| 4        | 13.9300      | 6.35231 | 5    | 0.10000    | 5                  | 43                  |     |
| 5        | 14.9600      | 5.91719 | 10   | 0.28000    | 10                 | 253                 |     |
| 6        | 16.0483      | 5.51828 | 10   | 0.19670    | 10                 | 211                 |     |
| 7        | 17.5000      | 5.06365 | 26   | 0.88000    | 27                 | 1552                |     |
| 8        | 18.5600      | 4.77678 | 44   | 1.28000    | 45                 | 2142                |     |
| 9        | 19.9000      | 4.45805 | 61   | 1.84000    | 62                 | 6129                |     |
| 10       | 21.1000      | 4.20714 | 78   | 0.00000    | 80                 | 0                   |     |
| 11       | 22.5200      | 3.94497 | 90   | 0.00000    | 92                 | 0                   |     |
| 12       | 23.6600      | 3.75740 | 78   | 0.00000    | 80                 | 0                   |     |
| 13       | 25.2200      | 3.52841 | 82   | 0.00000    | 84                 | 0                   |     |
| 14       | 26.4400      | 3.36830 | 61   | 0.00000    | 62                 | 0                   |     |
| 15       | 27.1000      | 3.28775 | 37   | 0.00000    | 38                 | 0                   |     |
| 16       | 27.9400      | 3.19079 | 35   | 0.94400    | 36                 | 2147                |     |
| 17       | 29.3620      | 3.03941 | 24   | 0.51600    | 24                 | 917                 |     |
| 18       | 30.4000      | 2.93795 | 12   | 0.00000    | 12                 | 0                   |     |
| 19       | 30.7800      | 2.90254 | 21   | 0.46000    | 21                 | 644                 |     |
| 20       | 32.0200      | 2.79291 | 7    | 0.04000    | 7                  | 39                  |     |
| 21       | 32.6025      | 2.74433 | 24   | 0.47500    | 24                 | 703                 |     |
| 22       | 34.2000      | 2.61971 | 35   | 1.14660    | 36                 | 2231                |     |
| 23       | 35.1000      | 2.55457 | 29   | 0.00000    | 30                 | 0                   |     |
| 24       | 36.7600      | 2.44293 | 100  | 1.71000    | 102                | 7230                |     |
| 25       | 37.3800      | 2.40382 | 97   | 0.00000    | 99                 | 0                   |     |
| 26       | 38.8400      | 2.31676 | 62   | 1.88000    | 63                 | 8332                |     |
| 27       | 40.1800      | 2.24253 | 37   | 0.00000    | 38                 | 0                   |     |
| 28       | 41.1400      | 2.19239 | 43   | 1.52000    | 44                 | 3289                |     |
| 29       | 42.5400      | 2.12342 | 31   | 0.68000    | 32                 | 943                 |     |
| 30       | 43.3133      | 2.08729 | 32   | 0.85330    | 33                 | 1180                |     |
| 31       | 44.2866      | 2.04365 | 23   | 0.53330    | 23                 | 613                 |     |
| 32       | 45.5900      | 1.98820 | 22   | 0.42000    | 22                 | 557                 |     |
| 33       | 46.3333      | 1.95802 | 25   | 0.36000    | 26                 | 627                 |     |
| 34       | 47.1100      | 1.92754 | 18   | 0.16000    | 18                 | 282                 |     |
| 35       | 48.8200      | 1.86394 | 13   | 0.08000    | 13                 | 214                 |     |
| 36       | 49.9525      | 1.82431 | 16   | 0.38500    | 16                 | 606                 |     |
| 37       | 50.9983      | 1.78932 | 16   | 0.46330    | 16                 | 406                 |     |
| 38       | 52.2100      | 1.75061 | 8    | 0.26000    | 8                  | 160                 |     |
| 39       | 53.0550      | 1.72470 | 16   | 0.59000    | 16                 | 495                 |     |
| 40       | 54.1833      | 1.69142 | 14   | 0.19330    | 14                 | 255                 |     |
| 41       | 55.2275      | 1.66189 | 17   | 0.16500    | 17                 | 379                 |     |
| 42       | 55.8800      | 1.64402 | 3    | 0.00000    | 3                  | 0                   |     |
| 43       | 56.6100      | 1.62454 | 10   | 0.28000    | 10                 | 391                 |     |
| 44       | 57.5700      | 1.59971 | 10   | 0.06000    | 10                 | 77                  |     |
| 45       | 58.3883      | 1.57923 | 19   | 0.37670    | 19                 | 386                 |     |
| 46       | 59.3400      | 1.55615 | 28   | 0.48000    | 29                 | 1087                |     |
| 47       | 60.1800      | 1.53642 | 15   | 0.00000    | 15                 | 0                   |     |
| 48       | 60.4000      | 1.53135 | 15   | 0.24000    | 15                 | 302                 |     |
| 49       | 61.5966      | 1.50444 | 22   | 0.44670    | 22                 | 804                 |     |

| peak no. | 2Theta (deg) | d (Å)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated (Counts) | Int |
|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|---------------------|-----|
| 50       | 63.2850      | 1.46831 | 20   | 0.55000    | 20                 | 671                 |     |
| 51       | 64.9000      | 1.43562 | 34   | 0.48000    | 35                 | 1064                |     |
| 52       | 66.1783      | 1.41095 | 68   | 1.33670    | 69                 | 3713                |     |
| 53       | 67.0600      | 1.39453 | 36   | 0.96000    | 37                 | 1609                |     |
| 54       | 68.4666      | 1.36927 | 15   | 0.32670    | 15                 | 351                 |     |
| 55       | 69.3790      | 1.35347 | 19   | 0.29800    | 19                 | 385                 |     |



#### 4. Pengaruh Suhu terhadap Proses Deposisi MnO<sub>2</sub>

##### a. KASP/MnO<sub>2</sub> (65 °C)

```

*** Basic Data Process ***
Group      : Standard
Data       : MnO2@KASP@65C

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (Å)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
1  52  66.4600  1.40565  100  2.34660  59  5863
2  23  36.8600  2.43653  85   1.40000  50  3671
3  51  65.8000  1.41814  80   0.96000  47  2147

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (Å)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
1  11.5400  7.66198  17   0.44000  10  274
2  13.2200  6.69183  12   0.08000  7   82
3  14.1366  6.26876  10   0.16670  6   56
4  15.0550  5.88006  5    0.03000  3   6
5  16.7500  5.28866  7    0.10000  4   39
6  17.8616  4.96195  8    0.06330  5   31
7  18.9500  4.67934  20   0.34000  12  262
8  20.1200  4.40979  31   0.74000  18  646
9  20.6800  4.29163  44   0.96000  26  1152
10 21.5000  4.12976  39   0.00000  23  0
11 22.9200  3.87702  58   1.64000  34  3005
12 23.8600  3.72636  54   0.00000  32  0
13 25.1800  3.53393  61   1.16000  36  3006
14 26.1200  3.40884  46   0.00000  27  0
15 27.0800  3.29013  36   1.14000  21  1608
16 28.4100  3.13906  27   0.70000  16  536
17 29.3933  3.03625  19   0.29330  11  230
18 30.6100  2.91828  15   0.14000  9   234
19 31.8900  2.80400  20   0.30000  12  284
20 32.9400  2.71698  15   0.16000  9   138
21 33.7600  2.65284  27   0.44000  16  541
22 34.7066  2.58262  27   0.38670  16  501
23 36.8600  2.43653  85   1.40000  50  3671
24 38.4800  2.33760  58   1.49340  34  2259
25 39.6400  2.27183  42   1.04000  25  1166
26 41.0408  2.19746  53   0.46830  31  872
27 41.8575  2.15645  41   0.51500  24  601
28 42.4920  2.12571  39   0.37600  23  483
29 43.6333  2.07272  14   0.06670  8   47
30 44.5000  2.03434  25   0.44000  15  410
31 45.1550  2.00634  25   0.69000  15  526
32 46.6800  1.94429  5    0.06000  3   19
33 47.3300  1.91909  19   0.14000  11  131
34 48.3250  1.88187  20   0.41000  12  374
35 49.0666  1.85515  5    0.02670  3   22
36 50.3480  1.81090  32   0.17600  19  403
37 51.2800  1.78015  31   0.18000  18  326
38 52.2200  1.75030  27   0.16000  16  195
39 53.0050  1.72621  25   0.37000  15  383
40 53.9325  1.69870  32   0.53500  19  577
41 54.9900  1.66850  10   0.10000  6   57
42 56.8566  1.61808  29   0.55330  17  529
43 57.9250  1.59075  19   0.13000  11  103
44 58.7900  1.56939  24   0.26000  14  320
45 59.4525  1.55347  25   0.31500  15  301
46 60.9030  1.51990  14   0.06600  8   40
47 61.6450  1.50338  15   0.09000  9   59
48 62.3700  1.48763  25   0.51340  15  383
49 64.0600  1.45240  37   0.94660  22  1318

peak      2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (Å)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
50  64.6800  1.43997  51   0.00000  30  0
51  65.8000  1.41814  80   0.96000  47  2147
52  66.4600  1.40565  100  2.34660  59  5863
53  68.7200  1.36483  76   0.00000  45  0
54  69.6000  1.34971  73   0.00000  43  0

```

b. KASP/MnO<sub>2</sub> (80 °C)

```

*** Basic Data Process ***
Group      : Standard
Data       : KASP@mc2#80C

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
          (deg)     (Å)    (deg)    (deg)     (Counts)  (Counts)
1  26    37.5600    2.39272  100    1.00000    51    2465
2  25    36.8600    2.43653   94    1.24000    48    2079
3  58    65.9200    1.41585   94    1.82660    48    3927

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
no.       (deg)     (Å)    (deg)    (deg)     (Counts)  (Counts)
1  11.1350    7.93973   6    0.03000     3     9
2  11.9400    7.40618   6    0.04000     3     9
3  13.5200    6.54401  20    0.32000    10    257
4  15.4133    5.74417  12    0.05330     6     58
5  16.4350    5.38930  12    0.11000     6     81
6  17.7400    4.99668  20    0.58000    10    274
7  18.2150    4.86647  29    0.35000    15    201
8  19.1200    4.63812  35    0.46660    18    595
9  20.0000    4.43598  43    0.48000    22    547
10 20.8600    4.25500  63    1.16000    32    2073
11 21.8600    4.06256  61    0.00000    31     0
12 22.1800    3.83411  73    0.00000    37     0
13 24.5600    3.62171  84    0.00000    43     0
14 24.9800    3.56176  76    0.00000    39     0
15 26.8200    3.32144  67    0.84000    34    3578
16 28.2325    3.15839  33    0.65500    17    856
17 29.8100    2.99475  16    0.08000     8     65
18 29.9800    2.97815  16    0.04000     8     28
19 30.3000    2.94742  27    0.60000    14    367
20 31.5200    2.83607  16    0.12000     8    114
21 32.3750    2.76309  12    0.07000     6     38
22 33.8075    2.64922  29    0.41500    15    598
23 34.9170    2.56754  18    0.14600     9    152
24 35.8600    2.50215  39    0.52000    20    687
25 36.8600    2.43653  94    1.24000    48    2079
26 37.5600    2.39272  100   1.00000    51    2465
27 38.7200    2.32366  57    0.00000    29     0
28 39.4600    2.28177  49    0.52000    25    1071
29 40.1233    2.24557  45    0.71330    23    984
30 40.9600    2.20161  29    0.00000    15     0
31 41.1400    2.19239  29    0.40000    15    459
32 42.4283    2.12875  29    0.16330    15    162
33 43.4550    2.08081  24    0.37000    12    243
34 43.9530    2.05838  18    0.12600     9    127
35 45.0400    2.01120  31    0.22000    16    412
36 46.2900    1.95975  10    0.06000     5     29
37 47.5083    1.91230  18    0.11670     9    106
38 48.3850    1.87968  16    0.23000     8    169
39 49.4875    1.84035  22    0.13500    11    115
40 50.0466    1.82110  22    0.42670    11    321
41 50.8733    1.79343  51    0.41330    26    711
42 52.1660    1.75199  53    0.33200    27    661
43 53.4600    1.71259  33    0.20000    17    257
44 54.0350    1.69511  27    0.39000    14    402
45 55.1200    1.66488  37    0.34000    19    414
46 56.0000    1.64078   6    0.04000     3     21
47 56.2075    1.63521  18    0.13500     9     78
48 57.4200    1.60353  37    0.28000    19    368
49 58.3500    1.58017  35    0.47340    18    437

peak      2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
no.       (deg)     (Å)    (deg)    (deg)     (Counts)  (Counts)
50 59.1540    1.56060  31    0.25200    16    347
51 60.0400    1.53947  16    0.12000     8     96
52 60.6100    1.52655  33    0.58000    17    440
53 61.0250    1.51716   6    0.03000     3     11
54 61.7300    1.50151  29    0.26000    15    429
55 62.6100    1.48250  33    0.22000    17    298
56 63.5666    1.46248  27    0.18670    14    166
57 64.4550    1.44445  65    0.67000    33    1024
58 65.9200    1.41585  94    1.82660    48    3927
59 66.8200    1.39895  80    0.00000    41     0
60 67.3400    1.38941  80    1.30000    41    2354
61 69.4800    1.35175  76    1.34000    39    2005

```

c. KASP/MnO<sub>2</sub> (95 °C)

```

*** Basic Data Process ***
Group      : Standard
Data       : KASP/MnO2#06gram

# Strongest 3 peaks
no. peak   2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
no.        (deg)         (Å)    (deg)    (deg)     (Counts)  (Counts)
  1    24    36.7600    2.44293  100    1.71000    102    7230
  2    25    37.3800    2.40382   97    0.00000    99      0
  3    11    22.5200    3.94497   90    0.00000    92      0

# Peak Data List
peak       2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
no.        (deg)         (Å)    (deg)    (deg)     (Counts)  (Counts)
  1    11.0700    7.98621   9    0.10000    9      81
  2    11.9100    7.42477  11    0.26000   11     166
  3    12.8433    6.88724   3    0.04670   3      13
  4    13.9300    6.35231   5    0.10000   5      43
  5    14.9600    5.91719  10    0.28000  10     253
  6    16.0483    5.51828  10    0.19670  10     211
  7    17.5000    5.06365  26    0.88000  27    1552
  8    18.5600    4.77678  44    1.28000  45    2142
  9    19.9000    4.45805  61    1.84000  62    6129
 10    21.1000    4.20714  78    0.00000  80      0
 11    22.5200    3.94497  90    0.00000  92      0
 12    23.6600    3.75740  78    0.00000  80      0
 13    25.2200    3.52841  82    0.00000  84      0
 14    26.4400    3.36830  61    0.00000  62      0
 15    27.1000    3.28775  37    0.00000  38      0
 16    27.9400    3.19079  35    0.94400  36    2147
 17    29.3620    3.03941  24    0.51600  24     917
 18    30.4000    2.92795  12    0.00000  12      0
 19    30.7800    2.90254  21    0.46000  21     644
 20    32.0200    2.79291   7    0.04000   7      39
 21    32.6025    2.74433  24    0.47500  24     703
 22    34.2000    2.61971  35    1.14660  36    2231
 23    35.1000    2.55457  29    0.00000  30      0
 24    36.7600    2.44293  100    1.71000   102    7230
 25    37.3800    2.40382   97    0.00000   99      0
 26    38.8400    2.31676  62    1.88000  63    8332
 27    40.1800    2.24253  37    0.00000  38      0
 28    41.1400    2.19239  43    1.52000  44    3289
 29    42.5400    2.12342  31    0.68000  32     943
 30    43.3133    2.08729  32    0.85330  33    1180
 31    44.2866    2.04365  23    0.53330  23     613
 32    45.5900    1.98820  22    0.42000  22     557
 33    46.3333    1.95802  25    0.36000  26     627
 34    47.1100    1.92754  18    0.16000  18     282
 35    48.8200    1.86394  13    0.08000  13     214
 36    49.9525    1.82431  16    0.38500  16     606
 37    50.9983    1.78932  16    0.46330  16     406
 38    52.2100    1.75061   8    0.26000   8     160
 39    53.0550    1.72470  16    0.59000  16     495
 40    54.1833    1.69142  14    0.19230  14     255
 41    55.2275    1.66189  17    0.16500  17     379
 42    55.8800    1.64402   3    0.00000   3      0
 43    56.6100    1.62454  10    0.28000  10     391
 44    57.5700    1.59971  10    0.06000  10      77
 45    58.3883    1.57923  19    0.37670  19     386
 46    59.3400    1.55615  28    0.48000  29    1087
 47    60.1800    1.53642  15    0.00000  15      0
 48    60.4000    1.53135  15    0.24000  15     302
 49    61.5966    1.50444  22    0.44670  22     804

peak       2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
no.        (deg)         (Å)    (deg)    (deg)     (Counts)  (Counts)
 50    63.3850    1.46831  20    0.55000  20     671
 51    64.9000    1.43562  34    0.48000  35    1064
 52    66.1783    1.41095  68    1.33670  69    3713
 53    67.0600    1.39453  36    0.96000  37    1609
 54    68.4666    1.36927  15    0.22670  15     351
 55    69.3790    1.35147  19    0.29800  19     385

```

## 5. Pengaruh pH terhadap Proses Deposisi MnO<sub>2</sub>

### a. KASP/MnO<sub>2</sub> (Asam)

```

*** Basic Data Process ***
Group      : Standard
Data       : MnO2#KASP#asam

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
          (deg)      (A)    (deg)    (deg)    (Counts)  (Counts)
  1      66.8200    1.39895  100    1.98000    58        4511
  2      22.9200    3.87702   98    0.00000    57         0
  3      23.7600    3.74182   93    0.00000    54         0

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
no.       (deg)      (A)    (deg)    (deg)    (Counts)  (Counts)
  1      11.0975    7.96648   9   0.04500    5         23
  2      12.3967    7.13434  50   0.82000   29        1316
  3      14.1700    6.24525   7   0.06000    4          35
  4      15.1400    5.84724   3   0.04000    2          9
  5      16.2233    5.45915   9   0.03330    5         20
  6      18.2000    4.87044  22   0.08000   13         86
  7      18.8000    4.71634  31   1.14000   18        813
  8      19.9800    4.44038  50   0.82000   29        939
  9      21.0400    4.21900  72   1.76000   42       3326
 10      21.9400    4.04793  93   0.00000   54         0
 11      22.9200    3.87702  98   0.00000   57         0
 12      23.7600    3.74182  93   0.00000   54         0
 13      25.0600    3.55058  76   0.00000   44         0
 14      25.4200    3.50110  79   0.00000   46         0
 15      26.7600    3.22875  55   0.00000   32         0
 16      27.4800    3.24315  41   0.00000   24         0
 17      28.5800    3.12077  38   1.12000   22       1457
 18      29.3000    3.04570  34   1.12000   20       968
 19      31.1300    2.87070  10   0.06000    6         48
 20      31.9166    2.80173  22   0.27330   13        368
 21      32.8460    2.72454  29   0.14800   17        188
 22      33.4150    2.67944  33   0.79000   19       708
 23      35.5566    2.52281  14   0.27330    8        117
 24      37.1350    2.41912  76   1.17000   44      2071
 25      37.9000    2.37203  45   0.76000   26       903
 26      39.0583    2.30431  31   0.74330   18       676
 27      39.9040    2.25740  26   0.32800   15       342
 28      40.8775    2.20586  26   0.15500   15       195
 29      42.2900    2.13540  29   0.66000   17       755
 30      43.4300    2.08195  17   0.18000   10       125
 31      44.8300    2.02013  14   0.06000    8         60
 32      45.4625    1.99348  10   0.07500    6         71
 33      46.3666    1.95670   5   0.06670    3         22
 34      47.2166    1.92343   7   0.07330    4         28
 35      47.9900    1.89423  24   0.38000   14       255
 36      48.9300    1.86001  10   0.10000    6         76
 37      49.8750    1.82696  10   0.09000    6         90
 38      50.4175    1.80857  16   0.11500    9         87
 39      51.0950    1.78616  21   0.17000   12       158
 40      51.9200    1.75971  10   0.08000    6         33
 41      52.5000    1.74162  19   1.04000   11       430
 42      53.3650    1.71541  26   0.15000   15       130
 43      54.2000    1.69094  29   0.44000   17       562
 44      55.5600    1.65273  22   0.34000   13       235
 45      56.5450    1.62625  29   0.25000   17       360
 46      57.2200    1.60866  10   0.10000    6         68
 47      57.5400    1.60047   5   0.04000    3         12
 48      58.2450    1.58277  22   0.17000   13       136
 49      59.4625    1.55324  47   0.61500   27      1070

peak      2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
no.       (deg)      (A)    (deg)    (deg)    (Counts)  (Counts)
 50      60.1900    1.53619  38   0.34000   22       471
 51      61.0200    1.51727  29   0.32000   17       391
 52      62.5866    1.48300  41   0.21330   24       370
 53      63.4720    1.46443  28   0.30400   16       337
 54      64.5600    1.44235  36   0.52000   21       841
 55      65.4800    1.42430  60   0.52000   35       942
 56      66.8200    1.39895  100  1.98000   58      4511
 57      67.7800    1.38146  72   0.00000   42         0
 58      68.4800    1.36903  74   0.00000   43         0
 59      69.7800    1.34667  88   1.32000   51      3025

```

b. KASP/MnO<sub>2</sub> (Basa)

```

*** Basic Data Process ***
Group      . Standard
Data      . MnO2#KASP#basa

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)         (A)    (deg) (Counts)  (Counts)
1  72      79.1800      1.20871 100  0.00000    59      0
2  71      78.1000      1.22270  83  0.00000    49      0
3  72      78.3800      1.21903  69  0.00000    41      0

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)         (A)    (deg) (Counts)  (Counts)
1  10.2100      8.65688   8  0.06000    5      63
2  11.5350      7.66529  10  0.23000    6     154
3  12.3500      7.16121   7  0.22000    4     104
4  13.0900      6.75799   7  0.06000    4      29
5  14.2733      6.20029  10  0.10670    6      69
6  15.6366      5.66264  10  0.31330    6     186
7  16.9450      5.22823   8  0.07000    5      54
8  17.5850      5.03937  10  0.15000    6      88
9  18.4400      4.80759  14  0.12000    8     110
10 20.3800      4.35412  20  1.04000   12     632
11 21.6300      4.10523  14  0.14000    8      86
12 22.3900      3.96758  17  0.22000   10     216
13 22.8800      3.88370  10  0.08000    6      76
14 24.4550      3.63703  15  0.23000    9     137
15 25.6600      3.46890   7  0.08000    4      37
16 26.5800      3.35088  12  0.06000    7      47
17 27.4050      3.25185  17  0.37000   10     234
18 28.6466      3.11367   8  0.10670    5      67
19 29.5400      3.02150   7  0.08000    4      35
20 30.7906      2.90157  14  0.11470    8      98
21 31.6666      2.82327  12  0.18670    7     120
22 32.9966      2.71245  12  0.15330    7     121
23 34.1050      2.62679  19  0.37000   11     279
24 34.9800      2.56306  20  0.33340   12     246
25 36.0000      2.49274  37  1.12000   22    1224
26 37.1800      2.41629  37  0.86000   22     896
27 38.1400      2.35765  37  0.84000   22    1056
28 39.0600      2.30422  29  0.18000   17     247
29 39.9366      2.25564  24  0.32670   14     429
30 40.9800      2.20058   3  0.04000    2      12
31 41.7300      2.16275  17  0.24000   10     233
32 42.8100      2.11065  24  0.26000   14     228
33 43.7266      2.06851   7  0.05330    4      22
34 45.5800      1.98862  36  0.44000   21     872
35 46.9950      1.93199  34  0.41000   20     580
36 48.2300      1.88536  27  0.42000   16     473
37 49.2700      1.84797  27  0.54000   16     500
38 50.7350      1.79799  20  0.35000   12     289
39 51.4833      1.77360  31  0.27330   18     357
40 52.3800      1.74533  19  0.24000   11     235
41 52.9600      1.72757  19  0.24000   11     278
42 53.6400      1.70727   7  0.12000    4     142
43 55.2816      1.66039  17  0.17670   10     137
44 55.5500      1.65300  12  0.16000    7      62
45 55.8733      1.64420  15  0.16000    9      119
46 56.5400      1.62638   3  0.00000    2       0
47 56.8400      1.61851   7  0.00000    4       0
48 57.8783      1.59192  20  0.17670   12     238
49 58.1400      1.58538  12  0.03000    7      13

```

| peak no. | 2Theta (deg) | d (A)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) |
|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|
| 50       | 58.4550      | 1.57758 | 12   | 0.07000    | 7                  | 63                      |
| 51       | 59.5875      | 1.55028 | 22   | 0.21500    | 13                 | 355                     |
| 52       | 60.6300      | 1.52609 | 14   | 0.06000    | 8                  | 55                      |
| 53       | 61.2383      | 1.51238 | 5    | 0.01670    | 3                  | 14                      |
| 54       | 61.4800      | 1.50701 | 10   | 0.04000    | 4                  | 47                      |
| 55       | 61.8616      | 1.49863 | 15   | 0.14330    | 9                  | 109                     |
| 56       | 64.2050      | 1.44947 | 37   | 0.27000    | 22                 | 589                     |
| 57       | 65.3000      | 1.42779 | 44   | 0.88000    | 26                 | 1259                    |
| 58       | 65.8600      | 1.41700 | 37   | 0.00000    | 22                 | 0                       |
| 59       | 65.9800      | 1.41471 | 51   | 0.29340    | 30                 | 564                     |
| 60       | 66.6000      | 1.40304 | 29   | 0.16000    | 17                 | 314                     |
| 61       | 67.3600      | 1.38904 | 47   | 0.48000    | 28                 | 885                     |
| 62       | 69.1750      | 1.35696 | 36   | 0.61000    | 21                 | 764                     |
| 63       | 70.8100      | 1.32959 | 15   | 0.42000    | 9                  | 329                     |
| 64       | 72.4933      | 1.30281 | 32   | 0.26670    | 19                 | 407                     |
| 65       | 72.9900      | 1.29516 | 46   | 0.41000    | 27                 | 716                     |
| 66       | 73.8433      | 1.28229 | 44   | 0.40670    | 26                 | 700                     |
| 67       | 74.6800      | 1.26998 | 46   | 0.38860    | 27                 | 664                     |
| 68       | 75.3850      | 1.25985 | 59   | 0.67000    | 35                 | 1143                    |
| 69       | 76.2150      | 1.24818 | 56   | 0.77000    | 33                 | 1802                    |
| 70       | 77.0800      | 1.23632 | 51   | 0.00000    | 30                 | 0                       |
| 71       | 78.1000      | 1.22270 | 83   | 0.00000    | 49                 | 0                       |
| 72       | 78.3800      | 1.21903 | 69   | 0.00000    | 41                 | 0                       |
| 73       | 79.1800      | 1.20871 | 100  | 0.00000    | 59                 | 0                       |

c. KASP/MnO<sub>2</sub> (Netral)

```

*** Basic Data Process ***
Group      : Standard
Data       : KASP/MnO2#06gram

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
      no.  (deg)      (A)    (deg)    (deg)    (Counts)  (Counts)
  1  24    36.7600    2.44293  100    1.71000    102    7230
  2  25    37.3800    2.40382   97    0.00000    99     0
  3  11    22.5200    3.94497   90    0.00000    92     0

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (A)    (deg)    (deg)    (Counts)  (Counts)
  1     11.0700    7.98621   9   0.10000    9      81
  2     11.9100    7.42477  11   0.26000   11     166
  3     12.8433    6.88724   3   0.04670   3      13
  4     13.9300    6.35231   5   0.10000   5      43
  5     14.9600    5.91719  10   0.28000  10     253
  6     16.0483    5.51828  10   0.19670  10     211
  7     17.5000    5.06365  26   0.88000  27     1552
  8     18.5600    4.77678  44   1.28000  45     2142
  9     19.9000    4.45805  61   1.84000  62     6129
 10     21.1000    4.20714  78   0.00000  80     0
 11     22.5200    3.94497  90   0.00000  92     0
 12     23.6600    3.75740  78   0.00000  80     0
 13     25.2200    3.52841  82   0.00000  84     0
 14     26.4400    3.36830  61   0.00000  62     0
 15     27.1000    3.28775  37   0.00000  38     0
 16     27.9400    3.19079  35   0.94400  36     2147
 17     29.3620    3.03941  24   0.51600  24     917
 18     30.4000    2.93795  12   0.00000  12     0
 19     30.7800    2.90254  21   0.46000  21     644
 20     32.8200    2.79291   7   0.04000   7      29
 21     32.6025    2.74433  24   0.47500  24     703
 22     34.2000    2.61971  35   1.14660  36     2231
 23     35.1000    2.55457  29   0.00000  30     0
 24     36.7600    2.44293  100   1.71000   102    7230
 25     37.3800    2.40382   97   0.00000   99     0
 26     38.8400    2.31676  62   1.88000  63     8332
 27     40.1800    2.24253  37   0.00000  38     0
 28     41.1400    2.19239  43   1.52000  44     3289
 29     42.5400    2.12342  31   0.68000  32     943
 30     43.3133    2.08729  32   0.85330  33     1180
 31     44.2866    2.04365  23   0.53330  23     613
 32     45.5900    1.98820  22   0.42000  22     557
 33     46.3333    1.95802  25   0.36000  26     627
 34     47.1100    1.92754  18   0.16000  18     282
 35     48.8200    1.86394  13   0.08000  13     214
 36     49.9525    1.82431  16   0.38500  16     606
 37     50.9983    1.78932  16   0.46330  16     406
 38     52.2100    1.75061   8   0.26000   8     160
 39     53.0550    1.72470  16   0.59000  16     495
 40     54.1833    1.69142  14   0.19330  14     255
 41     55.2275    1.66189  17   0.16500  17     379
 42     55.8800    1.64402   3   0.00000   3      0
 43     56.6100    1.62454  10   0.28000  10     391
 44     57.5700    1.59971  10   0.06000  10     77
 45     58.3883    1.57923  19   0.37670  19     386
 46     59.3400    1.55615  28   0.48000  29     1087
 47     60.1800    1.53642  15   0.00000  15     0
 48     60.4000    1.53135  15   0.24000  15     302
 49     61.5966    1.50444  22   0.44670  22     804

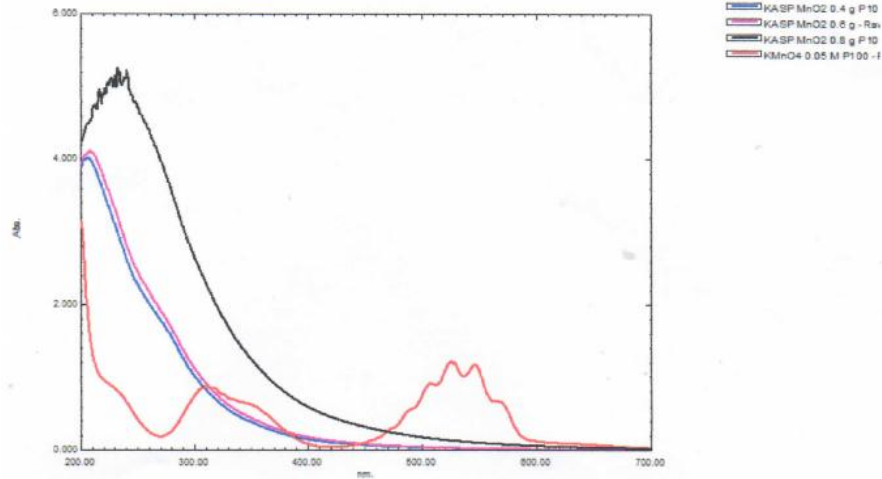
```

| peak no. | 2Theta (deg) | d (A)   | I/I1 | FWHM (deg) | Intensity (Counts) | Integrated Int (Counts) |
|----------|--------------|---------|------|------------|--------------------|-------------------------|
| 50       | 63.2850      | 1.46831 | 20   | 0.55000    | 20                 | 671                     |
| 51       | 64.9000      | 1.43562 | 34   | 0.48000    | 35                 | 1064                    |
| 52       | 66.1783      | 1.41095 | 68   | 1.33670    | 69                 | 3713                    |
| 53       | 67.0600      | 1.39453 | 36   | 0.96000    | 37                 | 1609                    |
| 54       | 68.4666      | 1.36927 | 15   | 0.22670    | 15                 | 351                     |
| 55       | 69.3790      | 1.35347 | 19   | 0.29800    | 19                 | 385                     |



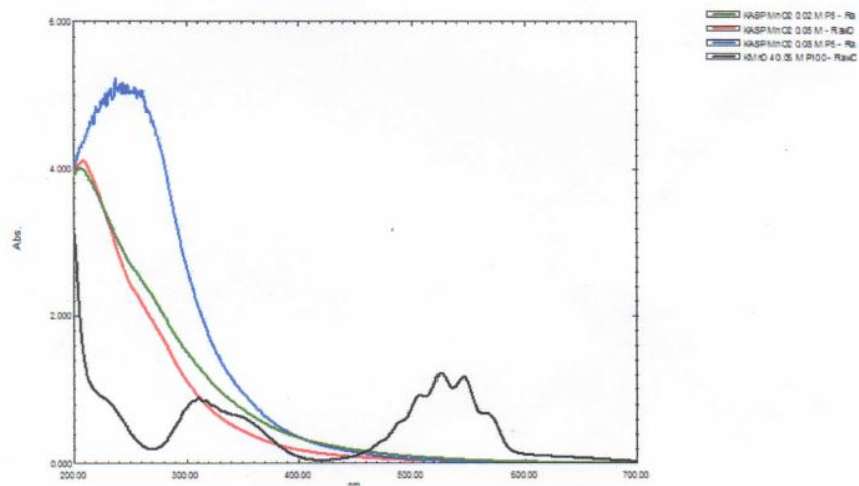
## Lampiran 7. Data Hasil Karakterisasi UV-Vis

### 1. Pengaruh massa karbon aktif terhadap deposisi MnO<sub>2</sub>



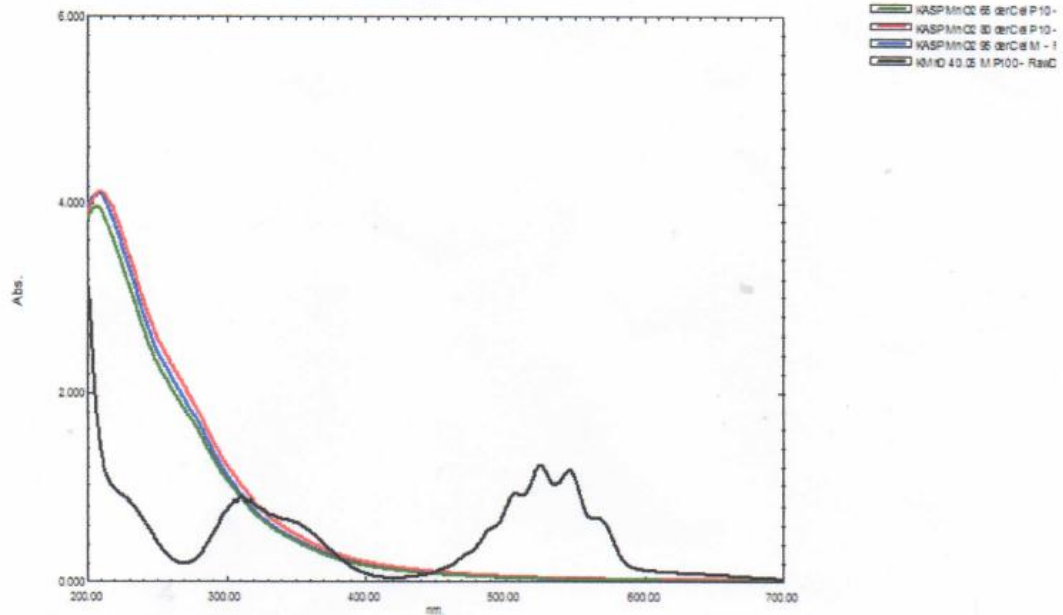
| Sampel                         | Panjang gelombang (nm)        | Absorbansi                        |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| KMnO <sub>4</sub> 0,05 M       | 545,5; 525,5; 507,5; 317; 310 | 1,168; 1,213; 0,911; 0,844; 0,877 |
| KASP 0,4 g + KMnO <sub>4</sub> | 207,00                        | 4,016                             |
| KASP 0,6 g + KMnO <sub>4</sub> | 208,00                        | 4,113                             |
| KASP 0,8 g + KMnO <sub>4</sub> | 212,00                        | 4,752                             |

### 2. Pengaruh konsentrasi KMnO<sub>4</sub> terhadap deposisi MnO<sub>2</sub>



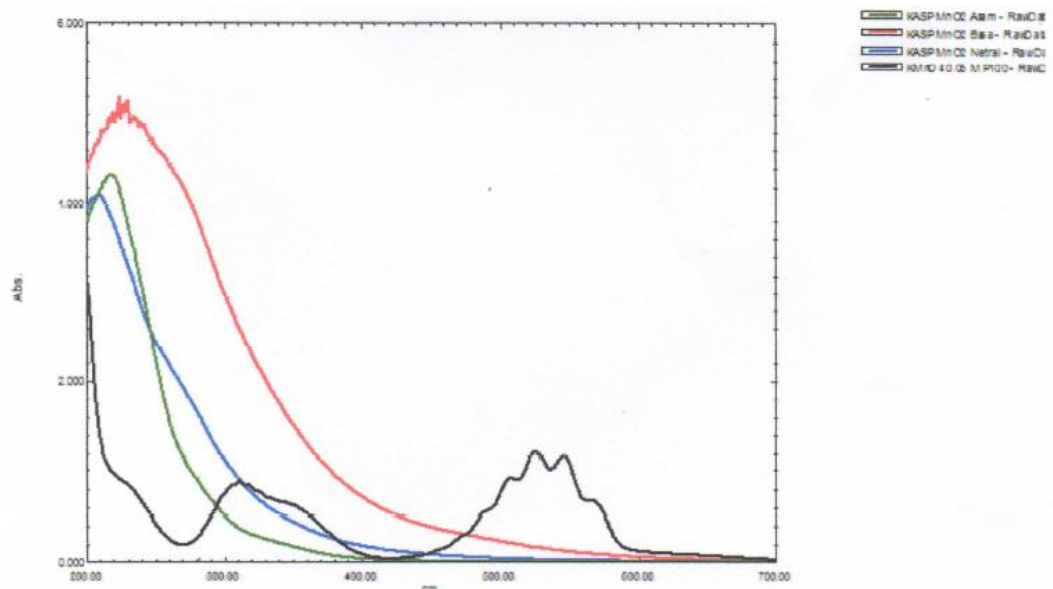
| Sampel                          | Panjang gelombang (nm) | Absorbansi |
|---------------------------------|------------------------|------------|
| KASP + KMnO <sub>4</sub> 0,02 M | 206,50                 | 4,011      |
| KASP + KMnO <sub>4</sub> 0,05 M | 208,00                 | 4,113      |
| KASP + KMnO <sub>4</sub> 0,08 M | 237,50                 | 5,224      |

### 3. Pengaruh suhu terhadap deposisi MnO<sub>2</sub>



| Sampel                           | Panjang gelombang (nm) | Absorbansi |
|----------------------------------|------------------------|------------|
| KASP + KMnO <sub>4</sub> (65 °C) | 207,00                 | 3,954      |
| KASP + KMnO <sub>4</sub> (80 °C) | 208,00                 | 4,120      |
| KASP + KMnO <sub>4</sub> (65 °C) | 208,00                 | 4,113      |

### 4. Pengaruh pH terhadap deposisi MnO<sub>2</sub>



| Sampel                            | Panjang gelombang (nm) | Absorbansi |
|-----------------------------------|------------------------|------------|
| KASP + KMnO <sub>4</sub> (Netral) | 208,00                 | 4,113      |
| KASP + KMnO <sub>4</sub> (Asam)   | 218,50                 | 4,321      |
| KASP + KMnO <sub>4</sub> (Basa)   | 223,50                 | 5,187      |