

*Skripsi*

**DEPOSISI SECARA REDOKS NANOPARTIKEL  $MnO_2$  PADA  
PERMUKAAN KARBON AKTIF TONGKOL JAGUNG (*Zea mays L.*) DAN  
POTENSINYA SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA  
PSEUDOKAPASITOR**

**FITRIANI**

**H 311 13 009**



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

**2017**

**DEPOSISI SECARA REDOKS NANOPARTIKEL  $MnO_2$  PADA  
PERMUKAAN KARBON AKTIF TONGKOL JAGUNG (*Zea mays L.*) DAN  
POTENSINYA SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA  
PSEUDOKAPASITOR**

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

**Oleh:**

**FITRIANI  
H 311 13 009**



**MAKASSAR**

**2017**

**SKRIPSI**

**DEPOSISI SECARA REDOKS NANOPARTIKEL  $MnO_2$  PADA  
PERMUKAAN KARBON AKTIF TONGKOL JAGUNG (*Zea mays*) DAN  
POTENSINYA SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA  
PSEUDOKAPASITOR**

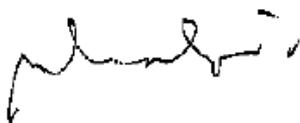
**Disusun dan diajukan oleh:**

**FITRIANI**

**H 311 13 009**

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

**Pembimbing Utama**

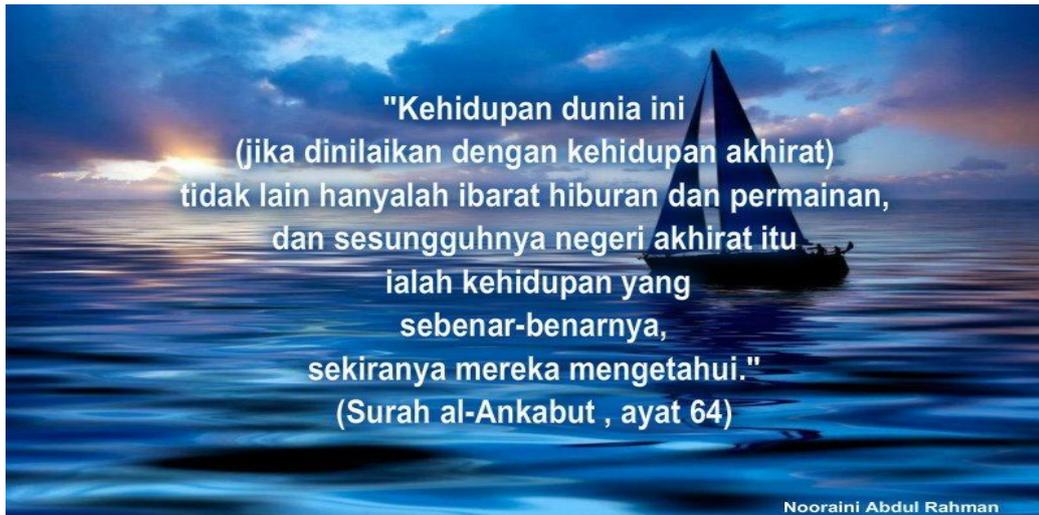


**Dr. Sci. Muhammad Zakir**  
**NIP. 19701103 199903 1 001**

**Pembimbing Pertama**



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



*"Jika kau berada di jalan ALLAH,  
bersarilah kencang. Jika sulit,  
maka tetaplah bersari, meski hanya bersari-sari kecil.  
Bisa salah, berjasalah.  
Apabila semua itu tak mampu dilakukan,  
tetaplah maju meski harus  
merangkak dan jangan pernah  
sekali pun berbalik arah"  
(al-imam As-Syafi'i)*

**"Orang yang cerdas adalah yang mempersiapkan bekal  
kematian"**

**(-----)**

## PRAKATA

**Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarokatuh...**

Segala puji bagi Allah *Subhaanahu wata'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, tiada henti memberikan nikmat yang begitu besar, khususnya nikmat iman dan Islam yang masih melekat pada diri pribadi. Tidak lupa kami kirimkan salawat dan salam kepada Rasulullah *shallallahu 'alaihi wasallam* sebagai suri tauladan terbaik, atas perjuangan beliau sehingga kita masih bisa merasa nikmat berislam hingga pada detik ini. Tidak lupa pula, kepada keluarga beliau, sahabat, sahabiyah, tab'in, tabi'ut-tabi'in dan orang-orang yang tetap istiqamah di jalan dinul Islam ini hingga qadar ALLAH berlaku pada diri mereka. Alhamdulillah, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **Deposisi secara Redoks Nanopartikel MnO<sub>2</sub> pada Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung (*zea mays L.*) dan Potensinya sebagai Material Elektroda Pseudokapasitor** sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar sarjana sains Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Pada lembaran ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada orangtua **Kadang** dan **Soji** yang selalu mendukung dalam mendapatkan pendidikan dan yang tiada henti memberikan doa terbaik. Ucapan syukur yang kedua untuk adik-adikku **Nurhidayah, rahmawati** sebagai sumber motivasi. Ketiga, untuk semua keluarga yang senantiasa mengiringi do'a dan dukungannya.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. **Dr. Sci. Muhammad Zakir dan Dr. Maming, M.Si** selaku pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktu dan tenaganya dalam memberikan

bimbingan dan petunjuk yang sangat berharga dari awal persiapan hingga selesainya penelitian ini.

2. Tim penguji hasil penelitian **Prof. Dr. Wahid Wahab, M.Sc** (ketua), **Dr. Seniwati Dali, M.Si** (sekretaris), **Drs. Frederick Mandey, M.Sc** (anggota), **Dr. Maming, M.Si** (anggota) dan **Dr. Sci. Muhammad Zakir** (anggota) atas saran dan kritikan yang diberikan.
3. Bapak Dr., Syarifuddin Liong, M.Si, selaku Penasehat Akademik. Terima kasih telah memberikan nasehat dan bimbingan selama mengikuti proses perkuliahan di Jurusan Kimia.
4. Seluruh staf dosen, dan pegawai Jurusan Kimia analis Laboratorium Kimia, **Ibu Sarinah, Ibu Barlian, kak Fibi, kak Linda, kak Hanna, Pak Sugeng, Ibu Tini dan kak Tanto**. Terimah kasih yang sebesar-besarnya atas bantuannya.
5. **Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (Dikti)**. Terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan beasiswa Bidik Misi yang telah diberikan selama  $\pm$  4 tahun.
6. Sahabat-sahabat kimia Titrasi 2013, Terima kasih atas kebersamaan dan pengalaman yang tak terlupakan.
7. Keluarga Besar **Pengurus Mushalla Istiqamah FMIPA Unhas**. Terima kasih ukht-ukht atas dukungan do'a, nasihat dan semangat dakwah, dan kebersamaannya di jalan dakwah. Uhibbukifillah.....
8. **Pengurus Mushalla Ulul Abshaar**. Terima kasih atas kebersamaannya dalam meniti jalan menuju surga. Meskipun terlihat sedikit tapi tidak menurunkan semangat dalam menebarkan dakwah dibuminya **ALLAH**.

9. Seluruh warga dan alumni **KMK FMIPA Unhas**. HMK tempat kita dibina, HMK tempat kita ditempa.
10. Kakak-kakak, adik-adik, serta alumni **KM FMIPA Unhas**. *Salam Use Your Mind Be The Best*.
11. Teman-teman seperjuangan penelitian Kimia Fisika : Terima kasih atas bantuan dan kebersamaannya.
12. Halaqah Tarbiyah: Teman sehalaqoh (**ulpa, ayu, nunu, aisyah, nana, annisa fitri, nabila, kak upi, kak ika** terima kasih atas kebersamaannya menuntut ilmuNya ALLAH. Semoga kita terus bersama hingga ke surgaNya kelak. Terima kasih **kak Mispil dan kak Masyta** atas bekal ilmu akhirat dan nasehat-nasehat yang begitu berharga dan kebersamaan selama bermajelis ilmu bersama teman-teman halaqoh.
13. Halaqah Tahsin: Terimakasih **kak Indah** atas nasehat-nasehat dan motivasi dalam menggapai kesuksesan akhirat, dan juga teman-teman sehalaqoh: **Ana, Rosmini, Irma, dan Tisa**.
10. KKN Gel. 93 Kec, Baraka Kel. Tomenawa : **Firman (kordes), Dewi, Vina, Fira, Galang** dan terkhusus untuk keluarga **Bapak Lurah** dan warga-warga Kel.Tomenawa.
12. Sahabat-sahabat **Newton SMA 1 ALLAH'**. Semoga ukhuwah diantara kita tetap terjalin.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan selanjutnya. Akhirnya, penulis berharap hasil penelitian ini dapat bermanfaat

dalam pengembangan wawasan bidang ilmu sains dan bidang ilmu kimia khususnya, Aamiin.

Makassar, Mei 2017

Penulis

## ABSTRAK

Sintesis dan karakterisasi karbon aktif tongkol jagung (*Zea Mays L.*) yang terdeposisi  $\text{MnO}_2$  sebagai bahan elektroda pseudokapasitor telah dilakukan. Karbon aktif dibuat melalui dua tahap, yakni karbonisasi dan aktivasi. Luas permukaan karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi yaitu 155,0244 dan 173,5665  $\text{m}^2/\text{g}$ . Deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon dilakukan dengan mereaksikan  $\text{KMnO}_4$  dengan karbon menggunakan variasi yaitu massa karbon, konsentrasi  $\text{KMnO}_4$ , pH dan suhu untuk memaksimalkan  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi. Hasil analisis XRF menunjukkan kadar  $\text{MnO}_2$  meningkat setelah terdeposisi  $\text{MnO}_2$  yang menandakan bahwa  $\text{MnO}_2$  telah terdeposisi pada permukaan karbon. Hasil analisis XRD sebelum terdeposisi menunjukkan karbon aktif memiliki struktur amorf, dan setelah terdeposisi terbentuk 2 puncak baru sekitar  $37^\circ$  dan  $65^\circ$  yang menunjukkan adanya  $\text{MnO}_2$ . 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  $\text{KMnO}_4$  0,025 M pada suhu  $95^\circ\text{C}$  dalam suasana netral. 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 15000 kali dengan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif sebelum deposisi sebesar 0,0066  $\text{mF/g}$ .

**Kata kunci:** deposisi,  $\text{MnO}_2$ , kapasitansi spesifik, karbon aktif tongkol jagung, reaksi redoks.

## ABSTRACT

The synthesis and characterization of corncobs activated carbon as pseudocapacitor material (*Zea Mays L.*) on which deposited  $\text{MnO}_2$  as pseudocapacitor electrode material has been done. Activated carbon is made through two stages, namely carbonization and activation. The surface area of the active carbon before and after activation is 155,0244 and 173,5665  $\text{m}^2/\text{g}$ . The deposition of  $\text{MnO}_2$  on the carbon surface is carried out by reacting  $\text{KMnO}_4$  with carbon using a variation of carbon mass,  $\text{KMnO}_4$  concentration, pH and temperature to maximize the deposited  $\text{MnO}_2$ . The XRF analysis showed that  $\text{MnO}_2$  levels increased after  $\text{MnO}_2$  deposition indicated that  $\text{MnO}_2$  had been deposited on the carbon surface. The results of the XRD analysis before deposition suggest that the activated carbon has an amorphous structure, and after deposition two peaks of uptake of about  $37^\circ$  and  $65^\circ$  indicate the presence of  $\text{MnO}_2$ . The results of the analysis with UV-Vis spectrophotometer showed that  $\text{MnO}_2$  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  $\text{Mn}_3\text{O}_4^{4+}$  which dissolves in the filtrate. Deposition of  $\text{MnO}_2$  was most effectively by reacting 0,6 g of carbon with  $\text{KMnO}_4$  0,025 M at  $95^\circ\text{C}$  in neutral solution. The result of specific capacitance measurement by cyclic voltammetry method shows that  $\text{MnO}_2$  has excellent pseudocapacitance effect because it can increase specific capacitance value up to 15000 times with specific capacitance value before  $\text{MnO}_2$  deposition was 0,0066  $\text{mF/g}$ .

**Keywords:** deposition,  $\text{MnO}_2$ , specific capacitance, corncobs activated carbon, redox reaction.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
PRAKATA .....	v
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian .....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Kapasitor Elektrokimia .....	6
2.2 Karbon Aktif.....	9
2.3 Tinjauan Umum Tongkol Jagung .....	10
2.4 Mangan Dioksida (MnO <sub>2</sub> ) sebagai Senyawa Pseudokapasitif .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>16</b>
3.1 Bahan Penelitian .....	16

3.2 Alat Penelitian .....	16
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian .....	16
3.4 Prosedur Penelitian .....	17
3.4.1 Tempat dan Waktu Pengambilan Sampel .....	17
3.4.2 Preparasi Sampel.....	17
3.4.3 Karbonisasi .....	17
3.4.4 Aktivasi .....	17
3.4.5 Penentuan Luas Permukaan.....	18
3.4.6 Deposisi Redoks Nanopartikel MnO <sub>2</sub> pada Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung .....	19
3.4.6.1 Pengaruh Massa Karbon Aktif.....	19
3.4.6.2 Pengaruh Konsentrasi KMnO <sub>4</sub> .....	19
3.4.6.3 Pengaruh Suhu .....	20
3.4.6.4 Pengaruh pH .....	20
3.4.7 Pembuatan Elektroda .....	20
3.4.8 Pengukuran Nilai Kapasitansi Spesifik .....	21
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>22</b>
4.1 Preparasi Sampel Tongkol Jagung .....	22
4.2 Karbonisasi .....	23
4.3 Aktivasi .....	23
4.4 Penentuan Luas Permukaan.....	24
4.5 Deposisi redoks nanopartikel MnO <sub>2</sub> pada Permukaan KATJ .....	26
4.5.1 Pengaruh Massa Karbon Aktif.....	27
4.5.1.1 Data XRF.....	28
4.5.1.2 Data XRD .....	31
4.5.1.3 Spektrum UV .....	32

4.5.1.4 Pengukuran Kapasitansi Spesifik.....	33
4.5.2 Pengaruh konsentrasi $\text{KMnO}_4$ .....	35
4.5.2.1 Data XRF.....	36
4.5.2.2 Data XRD .....	37
4.5.2.3 Spektrum UV .....	38
4.5.2.4 Pengukuran Kapasitansi Spesifik.....	39
4.5.3 Pengaruh Suhu .....	41
4.5.3.1 Data XRF.....	41
4.5.3.2 Data XRD .....	43
4.5.3.3 Spektrum UV .....	44
4.5.3.4 Pengukuran Kapasitansi Spesifik.....	45
4.5.4 Pengaruh pH .....	46
4.5.4.1 Data XRF.....	47
4.5.4.2 Data XRD .....	48
4.5.4.3 Spektrum UV .....	49
4.5.4.4 Pengukuran Kapasitansi Spesifik.....	50
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>54</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>60</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>halaman</b>
1. Struktur kapasitor, kapasitor elektrolit, dan superkapasitor .....	7
2. Skema dari sebuah kapasitor elektrokimia lapisan ganda listrik .....	7
3. Proses charging-discharging pada superkapasitor dan baterai .....	8
4. Struktur Karbon Amorf .....	9
5. Tongkol Jagung.....	11
6. Mekanisme penyisipan senyawa elektroaktif pada permukaan elektroda kapasitor yang terbuat dari karbon aktif (a,b) dan karbon nanotube (c,d) .....	13
7. Penampang permukaan karbon tanpa (a,b) dan dengan penyisipan MnO <sub>2</sub> (c,d).....	15
8. Sampel Tongkol Jagung yang Telah dan Bersih dan Kering .....	22
9. Tongkol Jagung Ukuran 100 mesh .....	23
10. Kurva kalibrasi deret standar metilen biru .....	25
11. KATJ sebelum dan setelah deposisi .....	27
12. Spektrum XRD karbon aktif tanpa deposisi dan dengan deposisi MnO <sub>2</sub> (a) KATJ, (b) KATJ/MnO <sub>2</sub> 0,2 gram, (c) KATJ/MnO <sub>2</sub> 0,4 gram, dan (d) KATJ/MnO <sub>2</sub> 0,6 gram. ....	29
13. Spektrum Spektrum UV-Vis larutan KMnO <sub>4</sub> dan filtrat hasil reduksi larutan KMnO <sub>4</sub> oleh KATJ 0,2 g/MnO <sub>2</sub> ; KATJ 0,4 g/MnO <sub>2</sub> ; dan KATJ 0,6 g/MnO <sub>2</sub> . ....	30
14. Voltammogram KATJ (a) , KATJ 0,2 g/MnO <sub>2</sub> (b), KATJ 0,4 g/MnO <sub>2</sub> (c), dan KATJ 0,6 g/MnO <sub>2</sub> (d). ....	32

15. Spektrum XRD karbon aktif tanpa deposisi dan dengan deposisi MnO <sub>2</sub> (a) KATJ, (b) KATJ/MnO <sub>2</sub> 0,025 M gram, (c) KATJ/MnO <sub>2</sub> 0,05 M, dan (d) KATJ/MnO <sub>2</sub> 0,1M.. .....	35
16. Spektrum UV- Vis larutan KMnO <sub>4</sub> dan filtrat hasil reduksi larutan KMnO <sub>4</sub> dengan konsentrasi KATJ/ MnO <sub>2</sub> 0,025; 0,05; dan 0,1 M... .	36
17. Voltammogram (a) KATJ, (b) KATJ/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,02 M),(c) KAJ/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,05 M), dan (d) KATJ/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,08 M).....	37
18. Spektrum XRD karbon aktif tanpa deposisi dan dengan deposisi MnO <sub>2</sub> (a) KATJ, (b) KATJ/MnO <sub>2</sub> asam, (c) KATJ/MnO <sub>2</sub> basa, dan (d) KATJ/MnO <sub>2</sub> netral.... ..	40
19. Spektrum UV-Vis larutan KMnO <sub>4</sub> dan filtrat hasil reduksi larutan KMnO <sub>4</sub> oleh KATJ pada suhu 65 °C; 80°C; dan 95°C.....	41
20. Voltammogram KATJ (a), KATJ/MnO <sub>2</sub> (65 °C) (b), KATJ/MnO <sub>2</sub> (80 °C) (c), dan KATJ/MnO <sub>2</sub> (95 °C) (d)... ..	42
21. Spektrum XRD karbon aktif tanpa deposisi dan dengan deposisi MnO <sub>2</sub> (a) KATJ, (b) KATJ/MnO <sub>2</sub> asam, (c) KATJ/MnO <sub>2</sub> basa, dan (d) KATJ/MnO <sub>2</sub> netral... ..	45
22. Spektrum UV- Vis larutan KMnO <sub>4</sub> dan filtrat hasil reduksi larutan KMnO <sub>4</sub> oleh KATJ pada suasana asam, basa, dan netral.....	46
23. Filtrat hasil deposisi MnO <sub>2</sub> dalam suasana asam sebelum dan sesudah penambahan NaOH.....	47
24. Voltammogram KATJ (a), KATJ/MnO <sub>2</sub> (asam) (b), KATJ/MnO <sub>2</sub> (basa) (c), dan KATJ/MnO <sub>2</sub> (netral) (d).... ..	47

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>halaman</b>
1. Komponen Tongkol Jagung .....	12
2. Nilai absorbansi deret standar metilen biru pada $\lambda_{\text{maks}}$ 660 nm .....	25
3. Data Luas Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung dengan dan tanpa aktivasi.....	26
4. Komponen senyawa oksida dalam KATJ sebelum dan setelah deposisi $\text{MnO}_2$ .....	28
5. Data <i>cyclic voltammetry</i> elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi $\text{MnO}_2$ menggunakan massa KATJ yang berbeda.....	33
6. Komponen senyawa oksida dalam KATJ sebelum dan setelah deposisi $\text{MnO}_2$ .....	34
7. Data <i>cyclic voltammetry</i> elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi $\text{MnO}_2$ menggunakan konsentrasi $\text{KMnO}_4$ yang berbeda.....	38
8. Komponen senyawa oksida dalam KATJ sebelum dan setelah deposisi $\text{MnO}_2$ .....	39
9. Data <i>cyclic voltammetry</i> elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi $\text{MnO}_2$ pada suhu yang berbeda .....	43
10. Komponen senyawa oksida dalam KATJ sebelum dan setelah deposisi $\text{MnO}_2$ .....	44
11. Data <i>cyclic voltammetry</i> elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi $\text{MnO}_2$ pada suasana yang berbeda.....	48

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>halaman</b>
1. Skema Prosedur Kerja.....	56
2. Perhitungan Luas Permukaan .....	61
3. Perhitungan Ukuran Partikel .....	63
4. Perhitungan Kapasitansi Spesifik.....	66
5. Dokumentasi Penelitian.....	70
6. Data Hasil Karakterisasi XRD.....	75
7. Data Hasil Karakterisasi UV-Vis.....	88

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti
A	Ampere
CV	<i>Cyclic Voltammetry</i>
EC	Elechthrochemical Capasitor
EDLC	Elechthrochemical Double Layer Capasitor
F/g	Faraday per gram
mF/g	mili Faraday per gram
$\mu\text{Fcm}^{-2}$	mikro Faraday per centimeter kuadrat
$\mu\text{m}$	mikro meter
g/mol	gram per mol
MJ/kg	Mega Joule per kilogram
$\text{m}^2/\text{g}$	meter kuadrat per gram
mg/g	milligram per gram
mAh/g	miliAmpere per gram
nm	nanometer
ppm	part per million
V	Volt
V/s	Volt per sekon
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
$X_m$	berat adsorbat teradsorpsi
KATJ	Karbon Aktif Tongkol Jagung
$\lambda_{\text{maks}}$	lamda maksimum

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin canggih kebutuhan akan energi saat ini semakin meningkat (Herniyanti dkk., 2014). Cadangan energi fosil sebagai satu-satunya sumber energi yang diandalkan saat ini semakin berkurang. Hal ini menyebabkan terjadinya krisis energi nasional sehingga dibutuhkan sumber energi lain yang terbarukan. Salah satunya adalah penyimpanan energi elektrokimia (Labanni dkk., 2015). Perangkat penyimpan energi yang banyak dikembangkan saat ini seperti, baterai, superkapasitor dan *fuel cell* (Herniyanti dkk., 2014). Superkapasitor telah digunakan secara luas pada bidang elektronik dan transportasi (Bakri, 2014). Superkapasitor memiliki jumlah siklus yang relatif banyak ( $>100000$  siklus), kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip yang sederhana dan konstruksi yang mudah (Ariyanto dkk., 2012). Superkapasitor diciptakan untuk memperoleh kapasitansi dengan densitas energi dan daya yang tinggi (Zhang dkk., 2009).

Keunggulan yang dimiliki superkapasitor dibandingkan dengan baterai dan kapasitor konvensional lainnya yaitu memiliki waktu hidup yang lebih lama, prinsip dan modelnya yang sederhana, waktu pengisian yang pendek, aman dan memiliki rapat daya yang tinggi yaitu 10-100 kali lipat lebih besar (Jayalakshmi, 2008). Kemampuan rapat daya yang besar pada superkapasitor disebabkan oleh luas permukaan yang besar dari material elektroda (Liu dkk., 2008).

Material yang digunakan untuk elektroda kapasitor elektrokimia adalah karbon aktif karena memiliki luas permukaan internal yang tinggi dan aksesibilitas pori yang baik (Frackowiak dan Beguin, 2001). Dalam pembuatan Elektroda kapasitor material yang digunakan antara lain *graphene*, *carbon nanotube*, *carbon aerogel*, karbon berpori, dan komposit mineral-karbon. Karbon berpori sangat menarik sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor karena luas permukaan spesifik yang besar, aksesibilitas pori tinggi, stabilitas termal dan kimia yang sangat baik serta biaya yang relatif murah (Zhu dkk., 2007). Karbon berpori dapat dibuat dengan cara karbonisasi bahan alami seperti tongkol jagung, ampas tebu, tempurung kelapa, sabut kelapa, sekam padi, serbuk gergaji, kayu keras, dan batu bara, kayu, bambu dan limbah kertas (Ariyanto dkk., 2012).

Tongkol jagung merupakan salah satu limbah pertanian yang sangat potensial dimanfaatkan untuk dijadikan arang, karena selain bahan ini mudah didapat dengan jumlah yang berlimpah juga mengandung kadar unsur karbon 43,42% dan hidrogen 6,32% dengan nilai kalornya berkisar antara 14,7-18,9 MJ/kg (Alfiany, 2013). Menurut Badan Pusat Statistik (2012) produksi jagung Indonesia pada tahun 2011 mencapai 16,3 juta ton yang berasal dari luas lahan panen 4 juta Ha dengan produktivitas rata-rata 4,1 ton tiap Ha. Sekitar 40-50% dari berat jagung merupakan tongkol jagung yang beratnya dipengaruhi oleh varietasnya (Richana, dkk., 2004; Wungkana, dkk., 2013). Selain itu, kandungan tongkol jagung sebagian besar tersusun atas lignoselulosa yaitu lignin (6%), selulosa (41%), dan hemiselulosa (36%), yang mengindikasikan bahwa tongkol jagung berpotensi sebagai bahan karbon aktif (Lorenz dan Kulp, 1991; Suryani, 2009). Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai karbon aktif dari

biomassa tongkol jagung dengan nilai kapasitansi  $259 \text{ F/g}^{-1}$ , bahkan pada tingkat scan tinggi  $100 \text{ mVs}^{-1}$  (Qu dkk., 2015).

Pembuatan karbon aktif terdiri atas dua tahap yaitu proses karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi merupakan proses pembakaran bahan baku pada suhu tinggi yang menyebabkan terjadinya dekomposisi senyawa organik yang menyusun struktur bahan baku (Ramdja, dkk., 2008). Aktivasi adalah proses menghilangkan pengotor pada pori-pori karbon dengan cara memutuskan ikatan hidrokarbon sehingga meningkatkan porositas karbon (Rahayu dan Adhitiyawarman, 2014).

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).

Peningkatan nilai kapasitansi suatu elektroda dapat ditingkatkan dengan menggunakan bahan metal oksida atau hidroksida, seperti *ruthenium*, *cobalt*, nikel dan mangan oksida atau hidroksida. Diantara semua logam oksida, oksida Ru dan Ir menghasilkan kapasitansi spesifik yang sangat tinggi. Pemakaian ruthenium oxide ( $\text{RuO}_2$ ) pada superkapasitor dengan pertimbangan dapat menghasilkan kapasitan yang relatif konstan pada tegangan di atas 1,4 V dengan spesifik kapasitan dalam range 600-1000 F/g. Seperti yang telah dilakukan oleh Patake dkk (2009) telah melakukan elektrodeposisi Ruthenium oksida ( $\text{RuO}_2$ ) dengan mnghasilkan kapasitan sebesar 650 F/g. Namun kelangkaan dan mahalnya logam tersebut menjadi faktor dalam pembuatannya. Oleh sebab itu, dibutuhkan

terobosan baru dalam pembuatan superkapasitor dengan bahan yang murah dengan performa yang sama. Logam oksida transisi telah dipertimbangkan sebagai bahan yang menjanjikan untuk pembuatan superkapasitor (Fitriana, 2014).

MnO<sub>2</sub> dianggap sebagai salah satu elektroda yang paling menjanjikan sebagai bahan untuk superkapasitor karena biaya rendah dan ramah lingkungan. Mangan dioksida (MnO<sub>2</sub>) dapat disintesis secara langsung melalui reduksi KMnO<sub>4</sub> menggunakan karbon aktif itu sendiri sebagai reduktor (Zhang dkk., 2012). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penyisipan MnO<sub>2</sub> pada permukaan elektroda kapasitor baik yang terbuat dari polimer atau karbon ternyata memberikan efek pseudokapasitif yang cukup baik. Zhang dkk (2012) telah mendeposisi MnO<sub>2</sub> pada permukaan karbon aktif komersial menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang jauh lebih tinggi (163,3 Fg<sup>-1</sup>) dibandingkan dengan karbon aktif komersial tanpa penyisipan MnO<sub>2</sub> (84,3 Fg<sup>-1</sup>). Selain itu, Meng dkk (2013) telah mensintesis elektroda kapasitor dari nanokomposit MnO<sub>2</sub> dengan polimer polianilin dan ternyata juga memperoleh hasil yang serupa.

Pada penelitian ini dilakukan penyisipan MnO<sub>2</sub> ke dalam permukaan karbon aktif dan aplikasinya sebagai superkapasitor. Pemakaian MnO<sub>2</sub> pada superkapasitor dengan pertimbangan dapat menghasilkan kapasitansi yang relatif konstan pada tegangan 2 V dengan spesifik kapasitansi 135 Fg<sup>-1</sup> (Prabunathan dkk.,2014). Karbon aktif terdeposisi selanjutnya akan diukur nilai kapasitansi spesifiknya dengan metode siklik voltametri.

## 1.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. bagaimana pengaruh massa karbon aktif, konsentrasi KMnO<sub>4</sub>, pH, dan suhu terhadap proses deposisi MnO<sub>2</sub> pada permukaan karbon aktif tongkol jagung (*Zea mays L.*)?

2. bagaimana pengaruh deposisi  $\text{MnO}_2$  terhadap nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tongkol jagung (*Zea mays L.*)?

## **1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian**

### **1.2.1 Maksud Penelitian**

Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kapasitansi karbon tongkol jagung (*Zea mays L.*) yang telah terdeposisi  $\text{MnO}_2$ .

### **1.2.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. menentukan pengaruh massa karbon, konsentrasi  $\text{KMnO}_4$ , pH, dan suhu terhadap proses deposisi  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon aktif tongkol jagung (*Zea mays L.*),
2. menentukan pengaruh penyisipan  $\text{MnO}_2$  terhadap nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tongkol jagung (*Zea mays L.*).

## **1.3 Manfaat Penelitian**

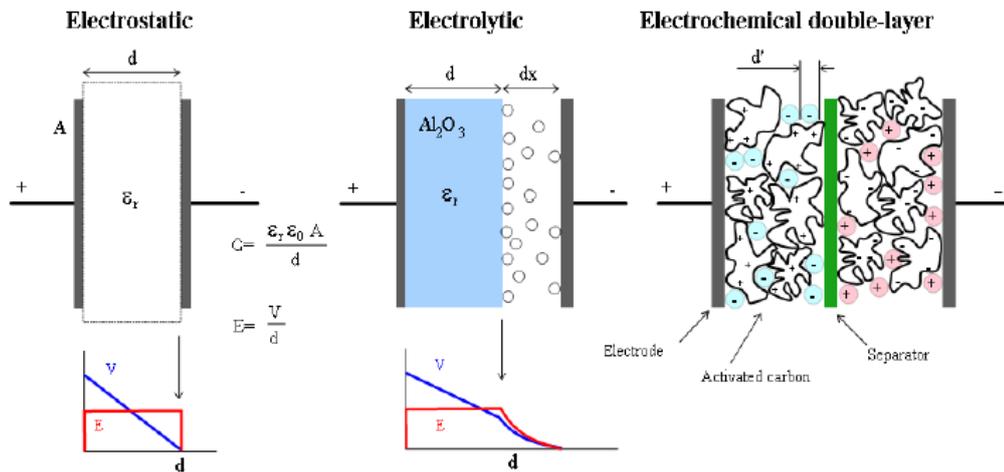
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengembangan ilmu pengetahuan. Terutama sebagai solusi dari krisis energi dan penyimpanan energi di masa yang akan datang. Selain itu dapat pula menjadi media sosialisasi kepada masyarakat tentang pemanfaatan limbah sebagai energi terbarukan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kapasitor Elektrokimia

Energi elektrokimia adalah energi yang diperoleh dari proses kimia. Kapasitor elektrokimia merupakan sistem penyimpanan energi yang lebih unggul dibandingkan baterai dan sel bahan bakar. Kapasitor elektrokimia berbahan karbon nanopori (Frackowiak dan Beguin, 2011).

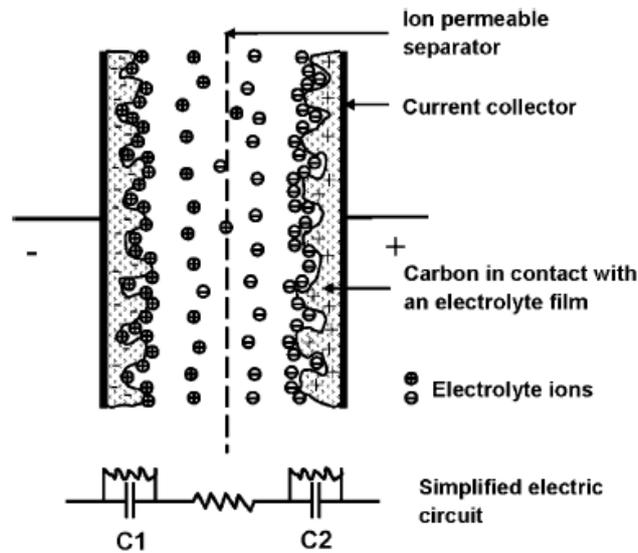


Gambar 1. Struktur kapasitor, kapasitor elektrolit, dan superkapasitor (Nugroho, M.A. 2011)

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). 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 stuktur berukuran nano yang diharapkan mampu meningkatkan kerapatan energi pada kapasitor elektrokimia (Antonucci dan Antonucci, 2011; Miller dan Simon, 2008).

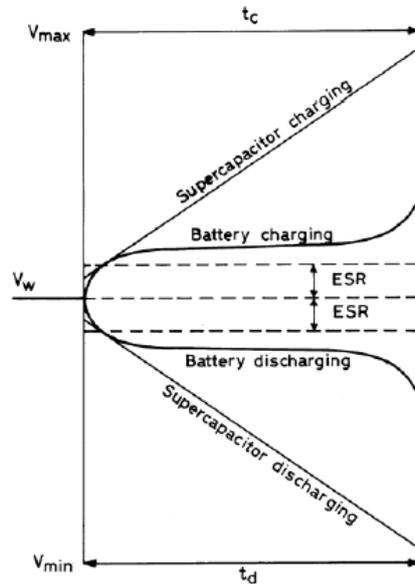
Luas permukaan yang tinggi dan ketipisan dari lapisan ganda, perangkat ini dapat memiliki spesifik sangat tinggi dan volumetrik kapasitansi volumetrik. Hal ini memungkinkan memiliki kepadatan energi yang sangat tinggi untuk kapasitor dan siklus yang relatif banyak. Kapasitor elektrokimia menyimpan energi listrik pada lapisan ganda listrik yang terbentuk pada antarmuka elektroda dan elektrolit (Miller dan Burke, 2008).



Gambar 2. Skema dari sebuah kapasitor elektrokimia lapisan ganda listrik (Su dan Schlog, 2010).

Superkapasitor memiliki keunggulan dibanding dengan baterai diantaranya; siklus hidup yang lebih panjang, impedansi yang rendah, waktu *charge* dan *discharge* yang cepat, dan memiliki rating *charge* dan *discharge* yang tinggi. Namun, superkapasitor juga memiliki kekurangan yaitu tegangan yang rendah dibanding baterai, *self-charger* yang tinggi dan memerlukan kontrol

elektronik yang lebih rumit (Nugroho, 2011). Berikut adalah grafik perbandingan antara proses *charging-discharging* pada superkapasitor dan baterai



Gambar 3. Proses charging-discharging pada superkapasitor dan baterai (Shukla, dkk., 2000).

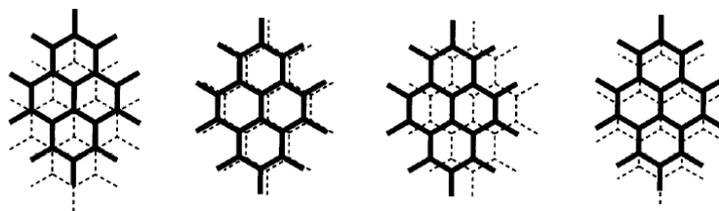
Untuk elektroda listrik kapasitor double-layer (EDLC), bahan umum adalah oksida logam, polimer, dan bahan berpori seperti karbon aktif dan karbon aerogel. Selain itu, bahan karbon baru, seperti karbon nanotube, telah dikembangkan sebagai bahan elektroda, tetapi memiliki kekurangan seperti persiapan yang rumit dan biaya tinggi. Dibandingkan dengan bahan karbon lainnya, karbon aktif lebih cocok sebagai bahan super elektroda karena luas permukaan yang tinggi dan biaya yang rendah. Selain itu, menggunakan bahan limbah biomassa untuk karbon aktif menjadi menarik dalam penyusunan bahan elektroda untuk EDLC. Banyak elektroda karbon dari EDLC diperoleh dari bahan biomassa, seperti serat pisang, kayu bakar, biji jagung, bambu, sekam padi, kulit biji bunga matahari, biji *cherry*, dan bulu (Chen dkk., 2013).

## 2.2 Karbon Aktif

Salah satu elektroda yang digunakan pada superkapasitor adalah karbon aktif. Distribusi pori yang homogen pada karbon aktif menyebabkan elektroda ini memiliki luas permukaan yang besar (Frackowiak dan Beguin, 2001).

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<sup>2</sup>/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).

Karbon aktif merupakan salah satu jenis karbon amorf yang tersusun paralel berbentuk cincin heksagonal menyerupai struktur grafit. Sifat fisika dari karbon aktif terutama ditentukan oleh ukuran pori dan luas permukaannya. Karbon aktif mempunyai luas permukaan yang cukup tinggi, yaitu berkisar antara 500-1500 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> dan volume pori berkisar antara 0,7-1,8 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup> (Cencen dan Aktas, 2012; Cotton dan Wilkinson, 1989).



Gambar 4. Struktur Karbon Amorf (Tanaka dkk., 1997)

Komposisi unsur karbon aktif yang dihasilkan dari bahan awal alami biasanya terdiri dari 85-90% C; 0,5% H; 0,5 %N; 5 %O; dan 1 %S, dan serta keseimbangan 5-6 % mewakili anorganik (Amelia dkk., 2013).

Mengolah arang menjadi arang aktif pada prinsipnya adalah membuka pori-pori arang menjadi lebih luas yaitu  $2 \text{ m}^2/\text{g}$  menjadi  $300\text{-}2000 \text{ m}^2/\text{g}$  pada arang aktif (Sudrajat dan Pari, 2011). Pembuatan karbon aktif terdiri dari dua tahap, yaitu proses karbonasi bahan baku dan proses aktivasi bahan terkarbonasi pada temperatur tinggi. Proses karbonisasi adalah proses penguraian selulosa organik menjadi unsur karbon dan pengeluaran unsur-unsur nonkarbon yang berlangsung pada suhu  $400^\circ\text{C}$ . Aktivasi merupakan proses untuk memperbesar porositas dan *surface area*. Proses ini menghilangkan sebagian besar jari-jari pori yang telah terbentuk. Aktivasi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu aktivasi secara kimia dan aktivasi secara fisika (Prasetyo dan Nasrudin, 2013). Aktivasi secara kimia dilakukan dengan mereaksikan karbon dari hasil karbonasi dengan bahan-bahan kimia yang biasanya digunakan untuk proses aktivasi kimia contohnya  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  setelah proses karbonisasi (Juliandini dan Trihadiningrum 2008). Sedangkan aktivasi fisika dapat dilakukan dengan mereaksikan gas  $\text{CO}_2$  dengan karbon hasil pirolisis (Prasetyo dan Nasrudin, 2013).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{NaOH}$  dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  merupakan bahan kimia yang cukup baik untuk digunakan setelah proses karbonisasi (Bakri, 2014). Proses perubahan arang menjadi karbon aktif merupakan hasil pengolahan bahan kimia pada suhu tinggi (Juliandini dan Trihadiningrum, 2008).

### **2.3 Tinjauan Umum Tongkol Jagung**

Tongkol jagung merupakan bagian terbesar dari limbah jagung. Dari berat jagung bertongkol, diperkirakan 40-50% adalah tongkol jagung, yang besarnya dipengaruhi oleh varietas jagungnya. Oleh karena itu dapat diperkirakan untuk

produksi jagung 13 juta ton (jagung pipilan) akan terjadi limbah tongkol jagung sekitar 10,6 juta ton/tahun. Selama ini masyarakat cenderung memanfaatkan limbah tongkol jagung hanya sebagai bahan pakan ternak, bahan bakar dapur dan pengasapan untuk mengusir nyamuk atau terbang percuma (Lumempouw dkk., 2012). Berdasarkan hal tersebut perlu adanya perhatian dan penanganan untuk pemanfaatan limbah tongkol jagung sehingga dapat lebih bermanfaat.



Gambar 5. Tongkol Jagung (Fachry dkk., 2013)

Tongkol jagung merupakan salah satu limbah pertanian yang sangat potensial dimanfaatkan untuk dijadikan arang aktif, karena limbah tersebut sangat banyak dan terbang percuma. Limbah ini dapat ditingkatkan nilai ekonominya bila diolah, juga dapat mengurangi potensi pencemaran lingkungan. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Sulawesi Tengah, produksi jagung tahun 2010 diperkirakan sebesar 171.179 ton pipilan kering, dan dalam bobot tongkol jagung terdiri dari kurang lebih 30% buah jagung. Untuk menghindari hal ini perlu adanya pemanfaatan limbah tongkol jagung tersebut, salah satunya yaitu sebagai bahan baku arang aktif (Alfiany dkk., 2013).

Tongkol jagung sebagian besar tersusun oleh selulosa (41%), hemiselulosa (36%), lignin (6%), dan senyawa lain yang umum terdapat dalam tumbuhan (Tabel 1). Aktivasi terhadap adsorben mengarah pada aktivasi gugus hidroksil pada selulosa, sehingga kemampuannya menjerap zat warna maupun ion logam meningkat (Sulistyawati, 2008).

Tabel 1. Komposisi tongkol jagung (Lorenz dan Kulp, 1991).

Senyawa	Kadar (%)
Air	9,6
Abu	1,5
Hemilosa	36,0
Selulosa	41,6
Lignin	6,0
<i>Pektin</i>	3,0
<i>Pati</i>	0,014

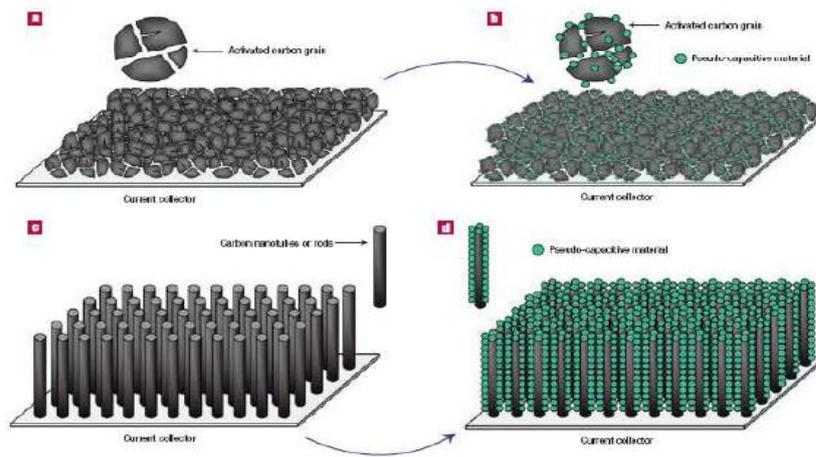
#### 2.4 Mangan Dioksida (MnO<sub>2</sub>) sebagai Senyawa Pseudokapasitif

Superkapasitor atau ultrakapasitor memiliki dua macam sistem penyimpanan energi yaitu berdasarkan pada 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 meyerap ion pada permukaannya (Frackowiak dan Beguin, 2001).

Bahan yang dijadikan syarat dalam sifat pseudokapasitif adalah alternatif yang menjanjikan untuk EDLCs. Dalam hal ini, kapasitansi terkait dengan biaya dan massa transfer antar elektroda dan elektrolit, proses dimana sebagian besar elektroda bekerja yang menyebabkan nilai-nilai kapasitansi  $100\text{-}400 \mu\text{Fcm}^{-2}$ . Oksida logam merupakan contoh pseudokapasitif bahan yang diteliti, salah satu menjadi kinerja terbaik adalah  $\text{RuO}_2$ .  $\text{RuO}_2$  sangat mahal sehingga alternatif oksida lebih murah telah dipertimbangkan, misalnya  $\text{MnO}_2$  (Pinero dkk., 2006).

Pada pseudokapasitor 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 pseudokapasitif berlangsung, terjadi reduksi partikel pada permukaan elektroda sehingga senyawa elektroaktif bertambah. Sebagai contoh,  $\text{MnO}_2$  dan  $\text{RuO}_2$  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).

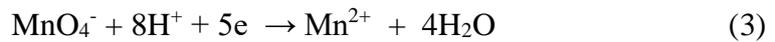
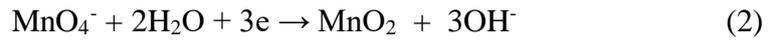


Gambar 6. Mekanisme penyisipan senyawa elektroaktif pada permukaan elektroda kapasitor yang terbuat dari karbon aktif (a,b) dan karbon nanotube (c,d) (Antonucci dan Antonucci, 2011)

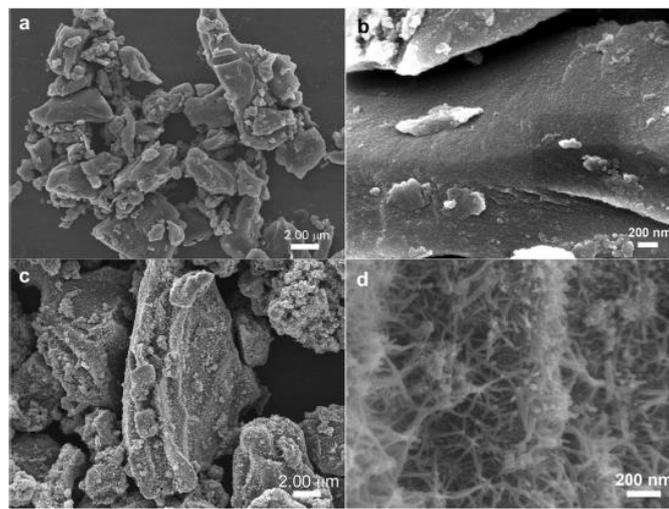
Secara umum, penyimpanan muatan  $\text{MnO}_2$  sebagai material pseudokapasitif dalam larutan elektrolit yaitu didasarkan pada terjadinya reaksi redoks yang menyebabkan perubahan bilangan oksidasi Mn dari +4 menjadi +3. Adapun mekanisme akumulasi muatan berdasarkan proses adsorpsi kation elektrolit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



$\text{MnO}_2$  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 dan Wilkinson, 1989):



Menurut Zhang dkk (2012), nanokomposit karbon aktif dan MnO<sub>2</sub> dapat dibuat dengan cara mereduksi langsung larutan KMnO<sub>4</sub> menggunakan karbon aktif itu sendiri sebagai reduktornya dalam suasana basa/netral. Adapun reaksinya dapat dilihat pada persamaan reaksi berikut:



Gambar 7. Penampang permukaan karbon tanpa (a,b) dan dengan penysipan MnO<sub>2</sub> (c,d) (Zhang dkk., 2012)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Bahan Penelitian**

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

#### **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), statif, corong Buchner, alat gelas laboratorium, termometer, lumpang, neraca analitik (Shimadzu AW220), XRF (ThermoFisherXRF), XRD (Shimadzu XRD-7000), labu semprot plastik, pompa vakum (Vacuubrand tipe ME4C), oven (tipe SPNISOSFD), pengaduk magnetik (CERAMAG Midi), Spektrometer UV-Vis 20 D<sup>+</sup> Shimadzu dan *Cyclic Voltammetry* (Aplikasi eDAQ ED410-159).

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

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

### **3.4 Prosedur Penelitian**

#### **3.4.1 Tempat dan Waktu Pengambilan Sampel**

Pengambilan sampel tongkol jagung berasal dari sumber lokal yang diambil di perkebunan jagung, alla, Kec. Baroko Kab. Enrekang.

#### **3.4.2 Preparasi Sampel**

Tongkol jagung dipotong menjadi bagian-bagian kecil kemudian dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan partikel-partikel kotor yang melekat pada permukaan tongkol jagung kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari (Alfiany, dkk., 2013).

#### **3.4.3 Karbonisasi**

Tongkol jagung yang kering dan bersih kemudian dimasukkan ke dalam cawan porselen lalu dikarbonisasi pada tanur selama 1 jam pada suhu 400 °C. Proses tersebut menghasilkan karbon tongkol jagung. Karbon yang diperoleh didinginkan dalam desikator, digerus, dan diayak dengan pengayak 100 mesh (Prasetyo dan Nasrudin, 2013).

#### **3.4.4 Aktivasi**

Karbon yang diperoleh dari proses karbonisasi kemudian diaktivasi menggunakan  $ZnCl_2$  10%. Karbon ditambahkan larutan  $ZnCl_2$  10% dengan perbandingan 1:10 lalu dihomogenkan. Wadah yang berisi campuran kemudian ditutup rapat menggunakan aluminium foil dan didiamkan selama 24 jam. Disaring menggunakan corong Buchner. 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).

### 3.4.5 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 1, 2, 4, dan 8 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):

$$X_m = \frac{(C_o - C_e) \times V}{g} \quad (5)$$

$$S = \frac{X_m \cdot N \cdot a}{M_r} \quad (6)$$

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 ( $\text{m}^2/\text{g}$ ).

### **3.4.6 Deposisi redoks nanopartikel MnO<sub>2</sub> pada Permukaan KATJ**

Proses deposisi MnO<sub>2</sub> pada permukaan KATJ didasarkan pada reaksi redoks yang terjadi antara karbon aktif tongkol jagung dengan KMnO<sub>4</sub>. Untuk memaksimalkan proses deposisi, maka perlu diketahui beberapa faktor yang mempengaruhi reaksi tersebut diantaranya pengaruh massa karbon aktif, konsentrasi KMnO<sub>4</sub>, pH, dan suhu.

#### **3.4.6.1 Pengaruh Massa Karbon Aktif**

Sebanyak 0,2; 0,4; dan 0,6 gram karbon aktif tongkol jagung 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 larutan menjadi tidak berwarna. 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.

#### **3.4.6.2 Pengaruh Konsentrasi KMnO<sub>4</sub>**

Sebanyak 0,4 gram karbon aktif tongkol jagung 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 larutan menjadi tidak berwarna. 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.

#### **3.4.6.3 Pengaruh Suhu**

Sebanyak 0,6 gram karbon aktif tongkol jagung dimasukkan ke dalam tiga gelas kimia yang masing-masing berisi 100 mL  $\text{KMnO}_4$  0,025 M kemudian diaduk dengan magnetik stirrer sambil dipanaskan pada suhu berturut-turut 65 °C; 80 °C; dan 95 °C hingga larutan menjadi tidak berwarna. 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.

#### **3.4.6.4 Pengaruh pH**

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  $\text{KMnO}_4$  0,025 M. Setelah itu, campuran diaduk dengan magnetik stirrer sambil dipanaskan pada suhu 95 °C hingga larutan menjadi tidak berwarna. 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.

#### **3.4.7 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 tongkol jagung

sebelum dan sesudah disisipkan 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).

### 3.4.8 Pengukuran Nilai Kapasitansi Spesifik

Elektroda yang telah dibuat, diukur nilai kapasitansi spesifiknya dengan metode siklik voltametri menggunakan alat potensiostat EA161. Adapun tipe sel yang digunakan yaitu sistem tiga elektroda yang terdiri dari elektroda Ag/AgCl (elektroda pembanding), elektroda Pt (elektroda pembantu) 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 voltagram antara tegangan dan arus. Kemudian nilai kapasitansi spesifik dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Ramli, 2015):

$$C_s = \frac{I_c - I_d}{v \times m} \quad (7)$$

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 = *scan rate* (V/s)

m = massa elektroda karbon aktif (g)

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas deposisi secara redoks nanopartikel  $\text{MnO}_2$  pada permukaan karbon aktif tongkol jagung yang dikarakterisasi dengan metode XRD, XRF dan UV-Vis. Karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi diukur nilai kapasitansi spesifiknya menggunakan metode siklik voltametri untuk mengetahui potensinya sebagai material elektroda pseudokapasitor.

#### **4.1 Preparasi Sampel Tongkol Jagung**

Limbah tongkol jagung hasil panen dikumpulkan. Tongkol jagung diambil di Desa Patongloan, Kec. Baroko, Kab. Enrekang. Bahan baku selanjutnya dibersihkan dengan air mengalir dan dibilas dengan akuades untuk menghilangkan kotoran yang melekat seperti pasir dan debu (Alfiany dkk., 2013) kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari untuk menguapkan kandungan air pada bahan baku setelah dicuci. Selanjutnya tongkol jagung yang telah kering dipotong kecil-kecil untuk memudahkan dalam proses pengurangan.



Gambar 8. Sampel tongkol jagung yang telah bersih dan kering

## 4.2 Karbonisasi

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 tongkol jagung pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *furnace* (tanur). Suhu optimum pada penelitian ini menggunakan suhu 400° C yang mengindikasikan bahwa karbon tongkol jagung sudah menghasilkan arang yang sempurna. Proses karbonisasi di atas suhu 400° C sudah menghasilkan abu, dan suhu di bawah 400° C menghasilkan arang tetapi tidak semua menjadi arang atau proses yang belum sempurna. Selanjutnya karbon digerus dan diayak dengan ayakan berukuran 100 mesh untuk mendapatkan arang yang berukuran kecil, sehingga memiliki luas permukaan yang besar (Andika dkk., 2015).



Gambar 9. Karbon Tongkol Jagung ukuran 100 mesh

## 4.3 Aktivasi

Aktivasi adalah proses untuk penghilangan hidrokarbon yang melapisi permukaan karbon sehingga meningkatkan porositas karbon (Andhika dkk.,

2015). Pada tahap karbonisasi didapatkan luas permukaan yang kecil disebabkan karena pori-pori karbon masih tertutupi oleh residu. Pada penelitian ini dilakukan aktivasi dengan menggunakan  $ZnCl_2$  10%. Aktivasi karbon tongkol jagung dilakukan dengan perbandingan 1:10 dengan mencampurkan 10 gram karbon tongkol jagung dengan 100 mL larutan aktivator  $ZnCl_2$  10% 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. Dengan demikian terbentuk sisi aktif pada karbon. Semakin banyak pori yang terbentuk, maka akan semakin banyak ruang yang tersedia untuk penyimpanan muatan listrik berupa ion-ion elektrolit di dalam karbon nanopori (Rosi, dkk., 2013).

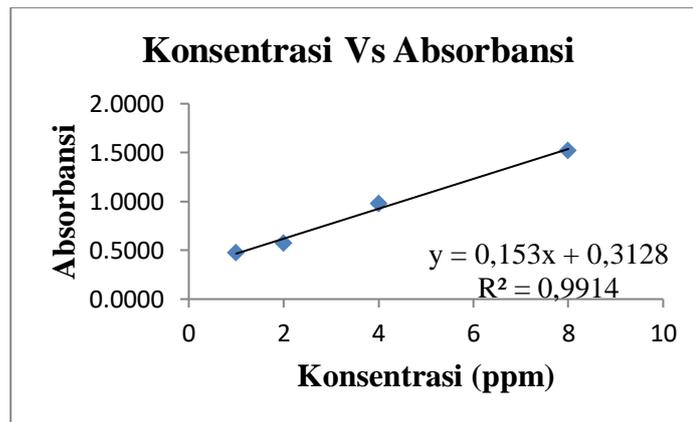
#### 4.4 Penentuan Luas Permukaan

Penentuan luas permukaan karbon diukur berdasarkan kemampuan karbon dalam mengadsorpsi metilen biru. Banyaknya metilen biru yang teradsorpsi berbanding lurus dengan luas permukaan adsorben. 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 1, 2, 4, dan 8 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  $\lambda_{maks}$  660 nm

Konsentrasi Metilen Biru (ppm)	Absorbansi
1	0,4760
2	0,5700
4	0,9800
8	1,5200

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 (5) dan (6) sehingga diperoleh nilai luas permukaan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Luas permukaan karbon sebelum dan sesudah aktivasi mengalami peningkatan yang cukup besar yaitu sekitar  $19 \text{ m}^2/\text{g}$ .

Untuk meningkatkan luas permukaan maka dilakukan tahap aktivasi dengan menggunakan aktivator  $\text{ZnCl}_2$  10%. Setelah diaktivasi ternyata memberikan sedikit peningkatan luas permukaan. Kenaikan yang terjadi tidak terlalu signifikan, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Luas Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung dengan dan tanpa aktivasi

sampel	S (m <sup>2</sup> /g)
Tanpa aktivasi	155,0244
Setelah aktivasi	173,5665

Luas permukaan KATJ sebelum aktivasi adalah 155,0244 m<sup>2</sup>/g, setelah diaktivasi meningkat sedikit menjadi 173,5665 m<sup>2</sup>/g. Kenaikan luas permukaan tersebut disebabkan karena aktivator tersebut mengangkat residu yang menutupi pori-pori, sehingga pori-pori menjadi terbuka yang menyebabkan luas permukaan menjadi besar.

Dalam penelitian ini untuk meningkatkan kapasitansi sebagai kapasitor, digunakan oksida logam. MnO<sub>2</sub> merupakan salah satu oksida logam yang digunakan karena selain bahan yang murah, juga proses sintesis yang mudah.

#### 4.5 Deposisi redoks nanopartikel MnO<sub>2</sub> pada Permukaan KATJ

Deposisi secara redoks pada penelitian ini merupakan proses pendeposisian nanopartikel MnO<sub>2</sub> kedalam permukaan karbon aktif. Hal tersebut merupakan langkah dalam meningkatkan nilai kapasitansi spesifiknya. Oksida logam tersebut berperan sebagai spesi elektroaktif yang berfungsi untuk meningkatkan kapasitansi. MnO<sub>2</sub> dihasilkan dari proses pencampuran antara karbon dan KMnO<sub>4</sub>, dengan karbon itu sendiri yang berperan sebagai reduktor dalam mereduksi KMnO<sub>4</sub> menjadi MnO<sub>2</sub> (Zhang, 2012).

MnO<sub>2</sub> 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

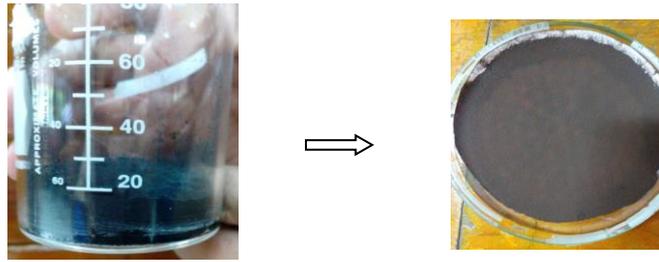
sistem koloid yang ditandai dengan perubahan warna larutan dari ungu (warna  $\text{KMnO}_4$ ) menjadi kuning hingga kuning kecoklatan (Moon dkk., 2014; Jaganyi dkk., 2013; Chacon-Patino dkk., 2013).

Sehingga 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 dan XRF untuk mengetahui secara langsung komposisi senyawa yang terkandung di dalam karbon aktif sebelum dan sesudah proses deposisi khususnya persentase senyawa oksida mangan dalam sampel. Sedangkan filtrat dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 180-700 nm untuk mengetahui keberadaan  $\text{MnO}_2$  yang kemungkinan besar tersuspensi 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  $\text{KMnO}_4$ , suhu dan pH untuk memaksimalkan nilai kapasitansi yang diperoleh.

#### **4.5.1 Pengaruh Massa Karbon Aktif**

Proses deposisi  $\text{MnO}_2$  dengan variasi karbon yaitu 0,2; 0,4 dan 0,6 gram dengan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang sama, memberikan pengaruh terhadap kemampuan karbon aktif dalam menyerap  $\text{MnO}_2$ . Seperti penelitian yang dilakukan (Zhang dkk., 2015). Terbentuknya  $\text{MnO}_2$  didapatkan dari adanya reaksi reduksi  $\text{KMnO}_4$  dengan karbon. Tereduksinya  $\text{KMnO}_4$  ditandai dengan hilangnya warna  $\text{KMnO}_4$  pada filtrat yang sebelumnya berwarna ungu menjadi warna kecoklatan. Karbon yang dihasilkan juga mengalami perubahan warna dari warna hitam menjadi warna kecoklatan. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar:



Gambar 11. KATJ sebelum dan setelah deposisi

Hal tersebut juga didukung dengan adanya karakterisasi menggunakan XRD dan XRF.

#### 4.5.1.1 Data XRF

Karakterisasi dengan XRF sebelum dan sesudah deposisi menunjukkan adanya perbedaan komposisi senyawa oksida seperti mangan oksida yang merupakan senyawa yang akan dideposisi pada permukaan karbon. Data XRF dalam suatu sampel ditunjukkan dalam bentuk persentase kadar. Kadar  $\text{MnO}_2$  dalam sampel diterjemahkan oleh detektor dalam bentuk  $\text{MnO}$  yang berfungsi sebagai standar untuk mendeteksi semua oksida mangan yang ada pada sampel. Valensi oksida mangan yang terdapat dalam sampel dapat diketahui dengan cara melihat spektrum XRF yang terbentuk. Menurut Urch dan Wood,  $\text{MnO}$  ( $\text{Mn}^{2+}$ ) dengan  $\text{MnO}_2$  ( $\text{Mn}^{4+}$ ) dapat dibedakan dengan melihat puncak  $\text{K}\beta'$  (transisi elektronik  $d \rightarrow d$  yang bergantung pada jumlah elektron yang tidak berpasangan pada orbital 3d) dan  $\text{K}\beta_{1,3}$  (transisi elektronik  $3p \rightarrow 1s$ ) pada spektrum XRF seperti ditunjukkan pada gambar X.

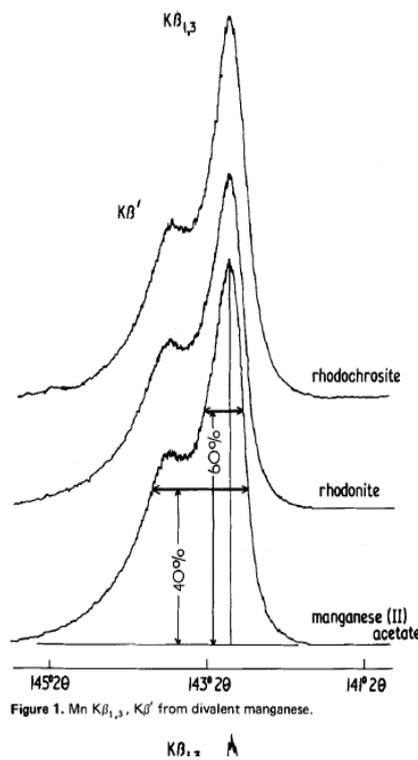


Figure 1. Mn  $K\beta_{1,3}$ ,  $K\beta'$  from divalent manganese.

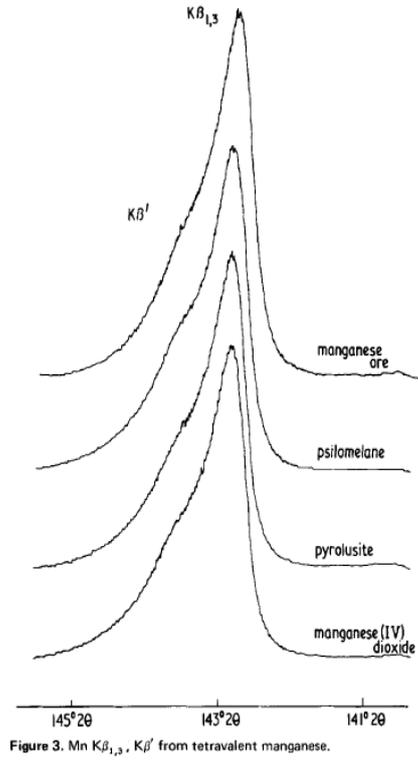


Figure 3. Mn  $K\beta_{1,3}$ ,  $K\beta'$  from tetravalent manganese.

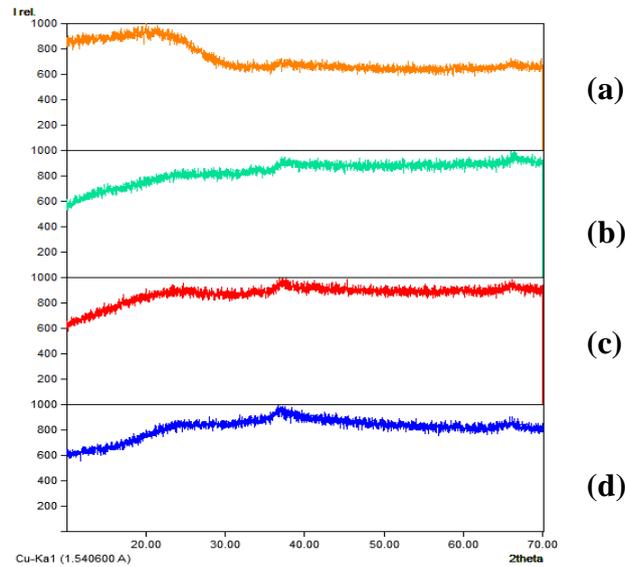
Penelitian tersebut menunjukkan adanya persentase kadar dari  $MnO_2$  yang diberikan dalam bentuk  $MnO$ . Terdapatnya  $MnO_2$  dalam sampel dapat didukung dengan adanya pola spektrum XRD seperti yang terlihat pada gambar 15.

Tabel 4. Komponen senyawa oksida dalam KATJ sebelum dan setelah deposisi  $MnO_2$  0,2 gram; 0,4 gram dan 0,6 gram

Senyawa oksida	Sebelum deposisi (%)	Setelah deposisi (%)		
		KATJ 0,2g/ $MnO_2$	KATJ 0,4g/ $MnO_2$	KATJ 0,6/ $MnO_2$
MnO	-	87,24	77,83	88,24
$K_2O$	31,72	12,26	10,74	10,95
$SiO_2$	31,88	-	-	-
ZnO	7,60	0,124	0,243	0,397
$TiO_2$	0,620	-	-	-
CaO	15,32	-	-	-
$Nb_2O_5$	0,043	0,0144	0,0103	0,0197
$Rb_2O$	-	-	0,0085	0,0139
$P_2O_5$	10,17	0,355	0,33	0,373
$SnO_2$	0,0169	0,0052	-	-
MgO	-	-	10,82	-
$Ga_2O_3$	-	-	0,0132	-

Sebelum deposisi menunjukkan adanya perbedaan komposisi senyawa oksida khususnya  $\text{SiO}_2$  yang merupakan senyawa oksida tertinggi dengan kadar 31,88%, sedangkan untuk  $\text{MnO}_2$  yang akan dideposisikan belum terdapat dalam KATJ. Setelah deposisi kadar  $\text{SiO}_2$  sudah tidak terdapat dalam KATJ, sedangkan  $\text{MnO}_2$  sudah terdapat dalam sampel dan memiliki kadar yang cukup tinggi. Untuk massa karbon 0,2 g kadar  $\text{MnO}_2$  menjadi 87,24%. Adanya peningkatan gugus Mn disebabkan karena sudah terdeposisinya  $\text{MnO}_2$  kedalam permukaan karbon. Untuk massa karbon 0,4 g terjadi penurunan kadar  $\text{MnO}_2$  menjadi 77,83%, dan pada massa karbon 0,6 g memiliki peningkatan kadar yang lebih tinggi dengan nilai 88,24%. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak massa karbon, maka semakin banyak pula  $\text{MnO}_2$  yang diserap. Namun berbeda pada massa karbon 0,2 dan 0,4 g. Perbedaan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor seperti pengadukan, sehingga tidak optimal dalam mengadsorpsi  $\text{MnO}_2$ . Perbedaan kadar yang diperoleh bergantung pada kemampuan karbon dalam mengadsorpsi  $\text{MnO}_2$  yang terbentuk dari reaksi reduksi  $\text{KMnO}_4$  oleh karbon aktif. Adapun senyawa-senyawa lain yang terdeteksi oleh XRF yang diduga tidak ada dalam sampel disebabkan oleh data standar yang ada pada instrumen tersebut. Sehingga instrumen XRF perlu untuk dikalibrasi ulang untuk dapat memberikan data yang akurat.

#### 4.5.1.2 Data XRD



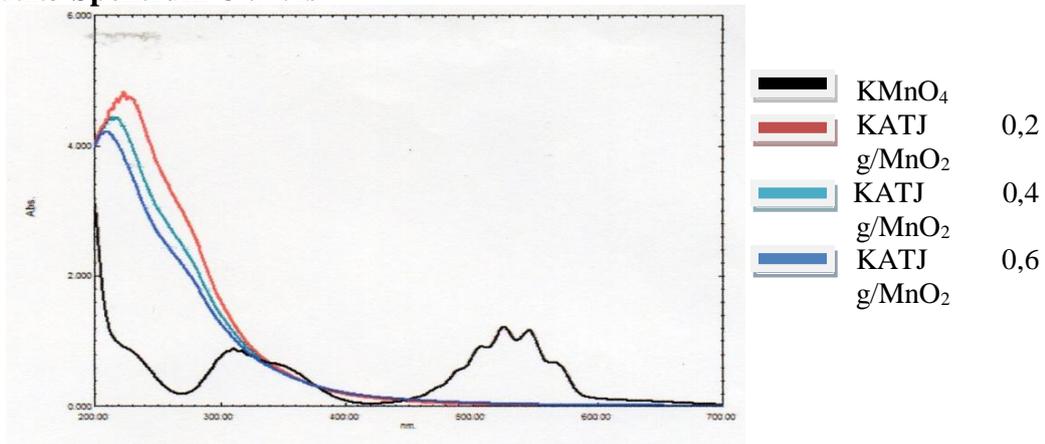
Gambar 12. Spektrum XRD karbon aktif tanpa deposisi dan dengan deposisi MnO<sub>2</sub> (a) KATJ, (b) KATJ/MnO<sub>2</sub> 0,2 gram, (c) KATJ/MnO<sub>2</sub> 0,4 gram, dan (d) KATJ/MnO<sub>2</sub> 0,6 gram.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan pola difraksi yang sangat berbeda antara karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub> (Gambar 12). Difraktogram untuk sampel karbon sebelum deposisi MnO<sub>2</sub> 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 tongkol jagung yang bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nashrullah dan Darminto (2013). Setelah deposisi dengan massa karbon 0,2 g terbentuk 2 puncak baru pada  $2\theta$  sekitar  $37,28^\circ$  dan  $67,10^\circ$  dengan ukuran partikel MnO<sub>2</sub> sekitar 7,4728 nm yang dihitung menggunakan persamaan *Debye Schereer*.

Massa karbon 0,4 g juga menunjukkan 2 puncak baru dengan masing-masing  $2\theta$   $36,93^\circ$  dan  $65^\circ$  dengan ukuran partikel MnO<sub>2</sub> sekitar 15,6647 nm. Massa karbon yang lain 0,6 gram juga memberikan 2 puncak pada  $2\theta$  yaitu  $36,93^\circ$  dan  $64,95^\circ$  dengan ukuran partikel MnO<sub>2</sub> sekitar 32,7674 nm. Kedua sudut yang

terdapat pada ketiga pengaruh massa karbon tersebut mengindikasikan adanya  $MnO_2$  dengan terbentuk 2 puncak baru pada  $2\theta$  sekitar  $37^\circ$  dan  $65^\circ$  bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Viscarini dkk., 2014).

#### 4.5.1.3 Spektrum UV-Vis



Gambar 13. Spektrum UV-Vis larutan  $KMnO_4$  dan filtrat hasil reduksi larutan  $KMnO_4$  oleh KATJ 0,2 g/ $MnO_2$ ; KATJ 0,4 g/ $MnO_2$ ; dan KATJ 0,6 g/ $MnO_2$

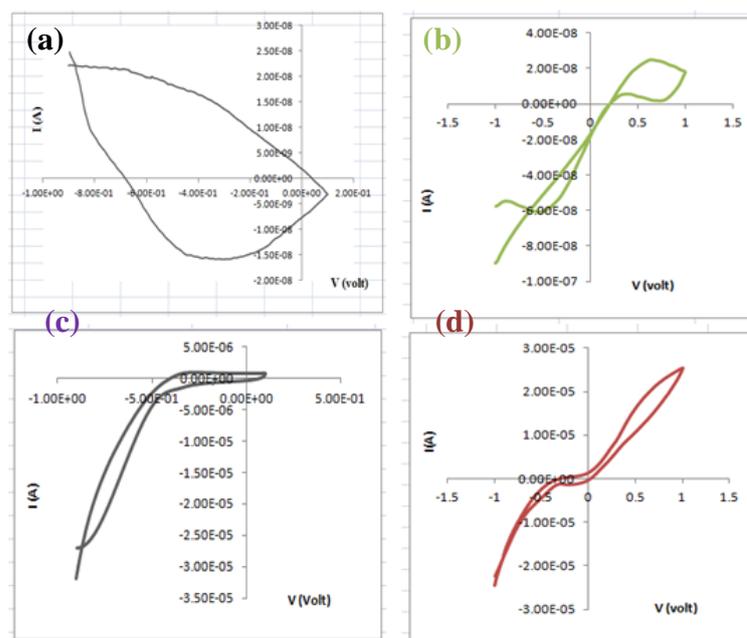
Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan spektrum yang juga sangat jauh berbeda antara filtrat sebelum dan sesudah deposisi (Gambar 13). Sebelum deposisi, filtrat masih berupa larutan  $KMnO_4$  yang belum tereduksi membentuk  $MnO_2$  dengan karakteristik spektrum terdapat puncak serapan pada panjang gelombang 545,5 nm, 525,5 nm, 507,5 nm, 317 nm, dan 310 nm yang bersesuaian dengan hasil penelitian Jaganyi dkk (2013).

Pada proses deposisi ini karbon dicampur dengan  $KMnO_4$ , kemudian distirrer sampai warna larutan menjadi warna kuning kecoklatan, terjadi perubahan warna larutan menjadi kuning hingga kuning kecoklatan yang menunjukkan bahwa  $MnO_2$  yang dihasilkan sebagian terdispersi ke dalam larutan membentuk sistem koloid, setelah itu disaring sehingga menghasilkan filtrat. Hal tersebut dikarenakan karena ukuran yang sangat kecil sehingga  $MnO_2$  bisa lolos pada saat proses penyaringan. Proses terbentuknya  $MnO_2$  dihasilkan dari proses tereduksinya  $KMnO_4$  menjadi  $MnO_2$ . Pada penelitian ini, filtrat yang

dihasilkan berwarna coklat dimana larutan berbentuk koloid yang menandakan bahwa ada  $\text{MnO}_2$  yang berada pada larutan tersebut. Ketiga variasi massa dalam spektrum tersebut menunjukkan pola yang sama yaitu mulai memberikan serapan pada panjang gelombang *visible* (400 nm – 600 nm) dan optimum pada daerah UV (205 nm – 215 nm). Semakin besar absorbansi maka semakin banyak  $\text{MnO}_2$  yang terdispersi ke dalam larutan. Perbedaan intensitas ketiga puncak tersebut tidak jauh berbeda yang menunjukkan jumlah  $\text{MnO}_2$  dalam larutan berada dalam jumlah yang sedikit. Hal tersebut disebabkan karena kadar  $\text{MnO}_2$  yang banyak pada padatan karbon, hal tersebut dapat dilihat pada data XRF dengan menunjukkan kadar mangan sekitar 80 an %.

#### 4.5.1.4 Pengukuran Kapasitansi Spesifik

Karakteristik pengukuran kapasitansi spesifik dilakukan dengan menggunakan metode voltametri siklik dan pengujian elektroda dilakukan dengan laju *scan* 100 mV/s. Gambar 14 menunjukkan voltammogram dari elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi.



Gambar 14. Voltammogram KATJ (a), KATJ 0,2 g/ $\text{MnO}_2$  (b), KATJ 0,4 g/ $\text{MnO}_2$  (c), dan KATJ 0,6 g/ $\text{MnO}_2$  (d)

Voltammogram dari elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi menunjukkan bentuk kurva yang cukup identik walaupun sedikit berbeda pada kurva elektroda karbon tanpa deposisi. Bentuk kurva yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan metode voltametri siklik memberikan gambaran besarnya nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Nilai kapasitansi spesifik dipengaruhi oleh arus *charge*, garis yang berada bidang atas kurva dan arus *discharge*, garis yang berada pada bidang bawah kurva seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14. Nilai arus *charge* dan *discharge* dari elektroda digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi spesifik menggunakan persamaan 7.

$$C_s = \frac{I_c - I_d}{v \times m} \quad (7)$$

Dimana,  $C_s$  = Nilai kapasitansi spesifik (F/g),  $I_c$  = arus *charge* (A),  $I_d$  = arus, *discharge* (A),  $v$  = *scan rate* (V/s),  $m$  = massa elektroda karbon aktif (g).

Nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh berdasarkan pengukuran dengan metode *cyclic voltammetry* mengalami peningkatan drastis setelah karbon aktif dideposisi dengan  $MnO_2$ . Peningkatan nilai kapasitansi disebabkan karena  $MnO_2$  bersifat pseudokapasitif. Penyimpanan muatan  $MnO_2$  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 berupa ion  $H^+$  yang berasal dari elektrolit  $H_2SO_4$  yang terjadi pada permukaan elektroda pasta karbon berdasarkan persamaan reaksi (Augustyn dkk., 2014):



Nilai kapasitansi spesifik dari elektroda pasta karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data *cyclic voltammetry* elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub> menggunakan massa KATJ yang berbeda

<b>Elektroda Pasta Karbon</b>	<b>Laju scan (V/s)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>I<sub>c</sub> (mA)</b>	<b>I<sub>d</sub> (mA)</b>	<b>C<sub>s</sub> (mF/g)</b>
KATJ	0,1	0,0615	2,48734. 10 <sup>-5</sup>	-1,5881. 10 <sup>-5</sup>	0,0066
KATJ 0,2 g/MnO <sub>2</sub>	0,1	0,0615	0,0248	-0,0898	18,6323
KATJ 0,4 g/MnO <sub>2</sub>	0,1	0,0615	0,00103	-0,0319	5,3540
KATJ 0,6 g/MnO <sub>2</sub>	0,1	0,0615	0,0256	-0,0245	8,1445

Keterangan: I<sub>c</sub> = arus *charge* (A); ; I<sub>d</sub> = arus *discharge* (A); C<sub>s</sub> adalah kapasitansi spesifik (F/g)

Nilai kapasitansi spesifik paling tinggi yang dihasilkan oleh elektroda pasta karbon yaitu KATJ/MnO<sub>2</sub> 0,2 g dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 18,6323 mF/g. Selain itu, karbon aktif terdeposisi KATJ/MnO<sub>2</sub> 0,4 g dan KATJ/MnO<sub>2</sub> 0,6 g juga mengalami peningkatan dibandingkan sebelum deposisi dengan nilai kapasitansi spesifik hanya 0,0066 mF/g. Hal ini mengindikasikan bahwa deposisi MnO<sub>2</sub> pada permukaan karbon menyebabkan kemampuan penyimpanan elektroda meningkat sekitar 1000 kali lipat dari sebelumnya. Karbon dengan massa 0,2 g memiliki nilai kapasitansi spesifik yang lebih besar daripada karbon dengan massa 0,6 gram meskipun jumlah MnO<sub>2</sub> yang lebih banyak. Hal tersebut dapat disebabkan karena dengan banyaknya MnO<sub>2</sub> yang terdeposisi justru menutupi pori-pori sehingga proses adsorpsi ion oleh karbon menjadi lebih sedikit yang menyebabkan kapasitansinya menjadi berkurang.

#### 4.5.2 Pengaruh konsentrasi KMnO<sub>4</sub>

Proses deposisi MnO<sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi KMnO<sub>4</sub> dengan variasi konsentrasi 0,025; 0,05 dan 0,1 M dengan massa karbon yang sama, memberikan

pengaruh terhadap MnO<sub>2</sub> yang terdeposisi kedalam karbon. Pengaruh tersebut dapat dilihat dengan adanya karakterisasi menggunakan XRD, XRF dan UV.

#### 4.5.2.1 Data XRF

Data XRF dalam suatu sampel ditunjukkan dalam bentuk persentase kadar. Pembacaan dalam bentuk kadar diterjemahkan oleh detektor dari standar yang ada pada instrumen. Penelitian tersebut menunjukkan adanya persentase kadar dari MnO<sub>2</sub> yang diberikan dalam bentuk MnO. Terdapatnya MnO<sub>2</sub> dalam sampel dapat didukung dengan adanya pola spektrum XRD seperti yang terlihat pada gambar 15.

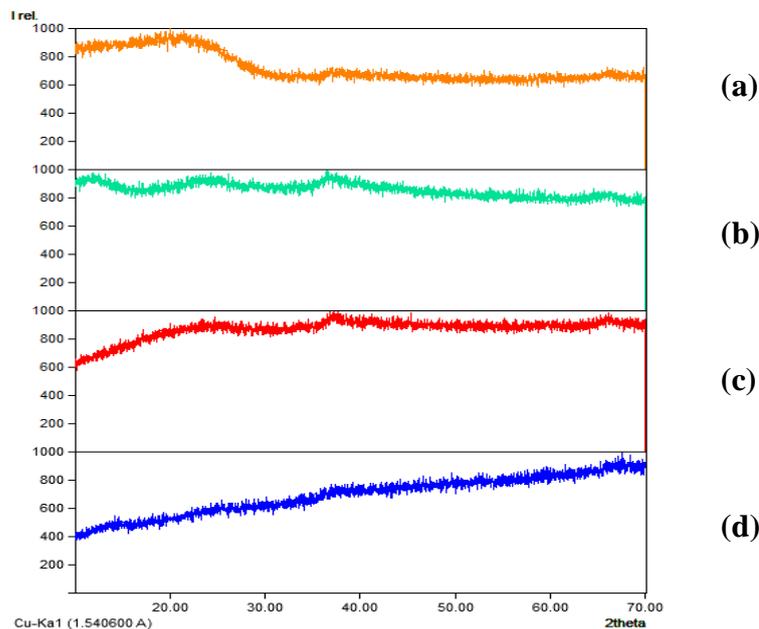
Tabel 6. Komponen senyawa oksida dalam KATJ sebelum dan setelah deposisi MnO<sub>2</sub> 0,025 M; 0,05 M dan 0,01 M

Senyawa oksida	Sebelum deposisi (%)	Setelah deposisi (%)		
		KATJ/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,025 M)	KATJ/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,05 M)	KATJ/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,1 M)
MnO	-	82,30	77,83	85,40
K <sub>2</sub> O	31,72	15,47	10,74	13,28
SiO <sub>2</sub>	31,88	-	-	-
ZnO	7,60	0,501	0,243	0,120
TiO <sub>2</sub>	0,620	1,18	-	0,978
CaO	15,32	-	-	-
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,043	-	0,0103	-
Rb <sub>2</sub> O	-	-	0,0085	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10,17	0,55	0,33	0,202
MgO	-	-	10,82	-
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	0,0132	-

Data menunjukkan kadar oksida sebelum dan sesudah deposisi. Sebelum deposisi, kadar SiO<sub>2</sub> memiliki kadar yang paling tinggi dari yang lainnya dengan kadar 31,88%. Sedangkan kadar MnO<sub>2</sub> belum terdapat dalam sampel KATJ.

Setelah deposisi kadar  $\text{SiO}_2$  sudah tidak ada. Dan kadar  $\text{MnO}_2$  memiliki kadar yang cukup tinggi. Untuk konsentrasi 0,025 M memiliki kadar 82,30 % kemudian konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,05 M terjadi penurunan kadar  $\text{MnO}_2$  menjadi 77,83%, dan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,1 M memiliki peningkatan yang lebih tinggi dengan kadar  $\text{MnO}_2$  85,40 %. Adapun pada konsentrasi 0,05 M terjadi penurunan yang kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya adalah faktor pengadukan sehingga proses penyerapan  $\text{MnO}_2$  yang tidak maksimal dan juga diantaranya masih ada  $\text{MnO}_2$  yang menempel pada dinding tabung reaksi.. Penelitian ini menunjukkan kadar yang paling besar dengan konsentrasi paling tinggi yaitu 0,1 M. Hal tersebut disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  maka semakin banyak  $\text{MnO}_2$  yang dihasilkan.

#### 4.5.2.2 Data XRD

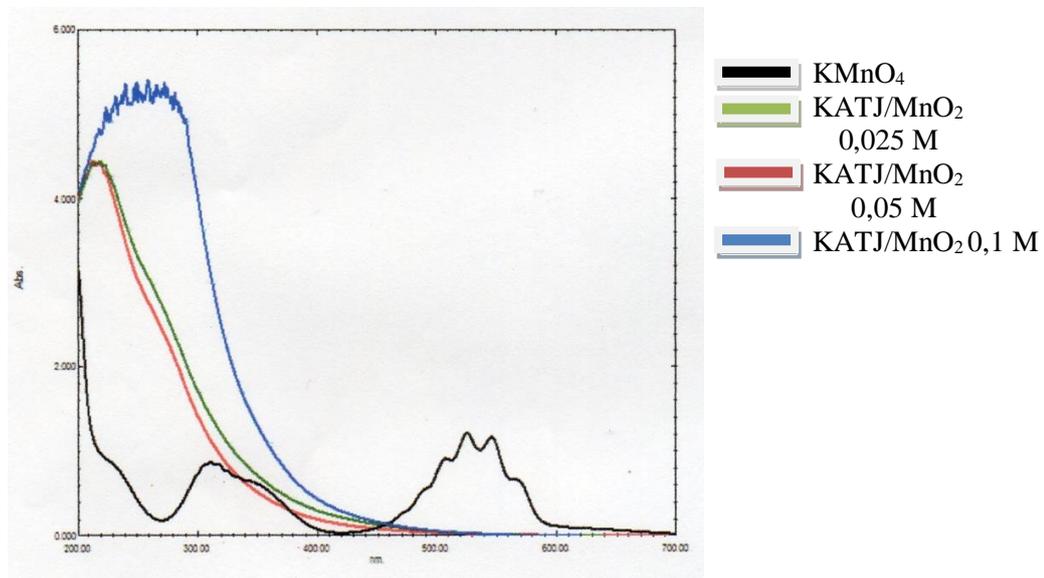


Gambar 15. Spektrum XRD karbon aktif tanpa deposisi dan dengan deposisi  $\text{MnO}_2$ (a) KATJ, (b) KATJ/ $\text{MnO}_2$  0,025 M gram, (c) KATJ/ $\text{MnO}_2$  0,05 M, dan (d) KATJ/ $\text{MnO}_2$  0,1M.

Data XRD menunjukkan pola difraksi yang sangat berbeda antara karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  (Gambar 15). Difraktogram untuk

sampel karbon sebelum deposisi  $MnO_2$  menunjukkan adanya satu puncak lebar pada  $2\theta$   $20,81^\circ$  yang merupakan karakteristik dari struktur amorf karbon aktif tongkol jagung. Setelah deposisi dengan variasi konsentrasi  $KMnO_4$  yaitu 0,025 M menunjukkan adanya puncak baru yang terbentuk pada  $2\theta$   $36,96^\circ$  dan  $64,94^\circ$  dengan ukuran partikel 10,9245 nm. Konsentrasi  $KMnO_4$  0,05 M juga menunjukkan adanya pembentukan 2 puncak pada  $2\theta$   $36,93^\circ$  dan  $65^\circ$  dengan ukuran partikel 15,6647 nm. Konsentrasi  $KMnO_4$  0,01 M juga memberikan 2 puncak pada  $2\theta$   $38,46^\circ$  dan  $66,27^\circ$  dengan ukuran partikel 46,1682 nm. Ketiga variasi konsentrasi tersebut mengindikasikan adanya  $MnO_2$  dengan terbentuk 2 puncak baru pada  $2\theta$  sekitar  $37^\circ$  dan  $65^\circ$  bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Viscarini dkk. (2014). Hal tersebut menandakan bahwa telah terjadi deposisi  $MnO_2$  pada permukaan karbon aktif.

#### 4.5.2.3 Spektrum UV-Vis



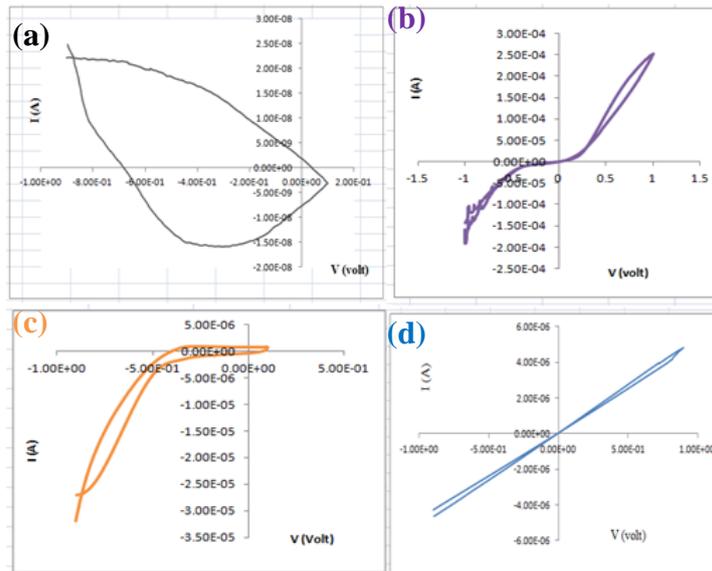
Gambar 16. Spektrum UV-Vis larutan  $KMnO_4$  dan filtrat hasil reduksi larutan  $KMnO_4$  dengan konsentrasi KATJ/  $MnO_2$  0,025; 0,05; dan 0,1 M.

Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan spektrum yang juga sangat jauh berbeda antara filtrat sebelum dan sesudah deposisi (Gambar 16). 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). Pada spektrum tersebut merupakan karakterisasi larutan dengan variasi konsentrasi dari  $\text{KMnO}_4$  masing-masing 0,025; 0,05; dan 0,1 M, . Filtrat yang dihasilkan berwarna coklat dimana larutan berbentuk koloid yang menandakan bahwa ada  $\text{MnO}_2$  yang berada pada larutan tersebut. Ketiga variasi konsentrasi dalam spektrum tersebut menunjukkan pola yang sama yaitu mulai memberikan serapan pada panjang gelombang *visible* (400 nm– 600 nm) dan optimum pada daerah UV (205 nm – 215 nm). Semakin besar absorbansi maka semakin banyak  $\text{MnO}_2$  yang terdispersi ke dalam larutan. Ketiga spektrum puncak tersebut menunjukkan bahwa tingginya intensitas serapan disebabkan karena tingginya konsentrasi pada  $\text{KMnO}_4$ . Pada konsentrasi 0,1 M memiliki puncak yang paling tinggi dan lebar. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak  $\text{MnO}_2$  yang terdispersi dalam larutan berada pada konsentrasi tertinggi yaitu 0,1 M.

#### **4.5.2.4 Pengukuran Kapasitansi Spesifik**

Karakteristik pengukuran kapasitansi spesifik dilakukan dengan menggunakan metode voltametri siklik dan pengujian elektroda dilakukan dengan laju *scan* 100 mV/s. Gambar 17 menunjukkan voltammogram dari elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$ .



Gambar 17. Voltammogram (a) KATJ, (b) KATJ/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,02 M), (c) KAJ/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,05 M), dan (d) KATJ/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,08 M)

Voltammogram arus dan tegangan KATJ sebelum dan sesudah terdeposisi MnO<sub>2</sub>. Pola siklik yang diperoleh antara KATJ sebelum dan sesudah deposisi sangat berbeda. Hal ini disebabkan karena keberadaan MnO<sub>2</sub> menyebabkan perubahan nilai arus dan tegangan saat pengukuran. Nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh juga mengalami peningkatan drastis setelah karbon aktif dideposisi dengan MnO<sub>2</sub>. Peningkatan nilai kapasitansi disebabkan karena MnO<sub>2</sub> bersifat pseudokapasitif. Nilai kapasitansi spesifik dari elektroda pasta karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Data *cyclic voltammetry* elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi MnO<sub>2</sub> menggunakan konsentrasi KMnO<sub>4</sub> yang berbeda

Elektroda Pasta Karbon	Laju scan (V/s)	Massa (g)	I <sub>c</sub> (mA)	I <sub>d</sub> (mA)	C <sub>s</sub> (mF/g)
KATJ	0,1	0,0615	2,48734. 10 <sup>-5</sup>	-1,58819. 10 <sup>-5</sup>	0,0066
KATJ/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,025M)	0,1	0,058	0,406187	-0,22981	109,6552
KATJ/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,05 M)	0,1	0,0615	0,001036562	-0,031890312	5,3539
KATJ/MnO <sub>2</sub> (KMnO <sub>4</sub> 0,1 M)	0,1	0,01595	0,004819	-0,00462	5,91732

Keterangan:  $I_c$  = arus *charge* (A);  $I_d$  = arus *discharge* (A);  $C_s$  adalah kapasitansi spesifik (F/g)

Nilai kapasitansi spesifik paling tinggi yang dihasilkan oleh elektroda pasta karbon yaitu KATJ/MnO<sub>2</sub> 0,025 M dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 109,6552 mF/g. Selain itu, karbon aktif terdeposisi KATJ/MnO<sub>2</sub> 0,05 M dan KATJ/MnO<sub>2</sub> 0,1 M juga mengalami peningkatan dibandingkan sebelum deposisi dengan nilai kapasitansi spesifik hanya sebesar 0,0066 mF/g. Hal ini menunjukkan bahwa deposisi MnO<sub>2</sub> pada permukaan karbon aktif dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik. Nilai kapasitansi yang tinggi pada hasil deposisi dengan konsentrasi 0,025 M. Hal ini dapat disebabkan karena MnO<sub>2</sub> yang terdeposisi cukup banyak dengan ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran partikel dari konsentrasi 0,05 M dan 0,1 M sehingga menimbulkan efek pseudokapasitansi yang cukup besar jika dibandingkan dengan konsentrasi lainnya.

#### **4.5.3 Pengaruh Suhu**

Selain variasi massa karbon, konsentrasi KMnO<sub>4</sub> dan pH yang berpengaruh juga variasi suhu yang berpengaruh pada proses deposisi. Pada penelitian ini variasi suhu yang digunakan yaitu 65 °C; 80 °C dan 95 °C. Hal tersebut dapat dilihat dengan adanya karakterisasi menggunakan XRD, XRF, UV dan CV.

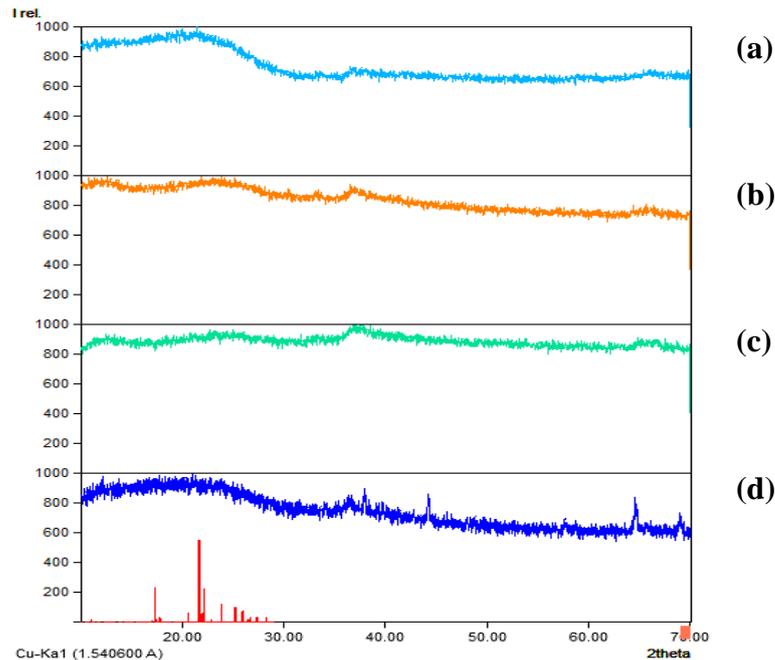
##### **4.5.3.1 Data XRF**

Tabel 8. Komponen senyawa oksida dalam KATJ sebelum dan setelah deposisi MnO<sub>2</sub> 65 °C; 80 °C dan 95 °C

Senyawa oksida	KATJ		Setelah deposisi (%)		
	Sebelum	KATJ/MnO <sub>2</sub>	KATJ/MnO <sub>2</sub>	KATJ/MnO <sub>2</sub>	KATJ/MnO <sub>2</sub>
	deposisi (%)	65 °C	80 °C	95 °C	
MnO	-	86,85	79,13	73,44	
K <sub>2</sub> O	31,72	10,79	19,07	9,51	
SiO <sub>2</sub>	31,88	-	-	-	
ZnO	7,60	0,770	0,525	0,526	
TiO <sub>2</sub>	0,620	1,08		-	
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-	0,052	0,064	0,043	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10,17	0,448	1,17	0,237	
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	0,0146	-	
CS <sub>2</sub> O	-	-	0,0033	-	
I	-	-	0,0064	-	

Data menunjukkan kadar oksida sebelum dan sesudah deposisi. Sebelum deposisi SiO<sub>2</sub> memiliki kadar yang paling tinggi dengan nilai 31,72%. Sedangkan MnO<sub>2</sub> belum terdapat dalam sampel KATJ. Setelah deposisi, kadar SiO<sub>2</sub> tidak terdapat dalam sampel yang dideposisi. Sedangkan kadar MnO<sub>2</sub> menunjukkan kadar yang cukup tinggi. Kadar MnO<sub>2</sub> pada suhu 65 °C yaitu 86,85%, pada suhu 80°C yaitu 79,13%. Dan pada suhu 95 °C yaitu 73,44%. Terjadinya peningkatan suhu menyebabkan terjadinya sedikit penurunan kadar. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena suhu yang tinggi pada saat distirrer menyebabkan terjadinya penguapan.

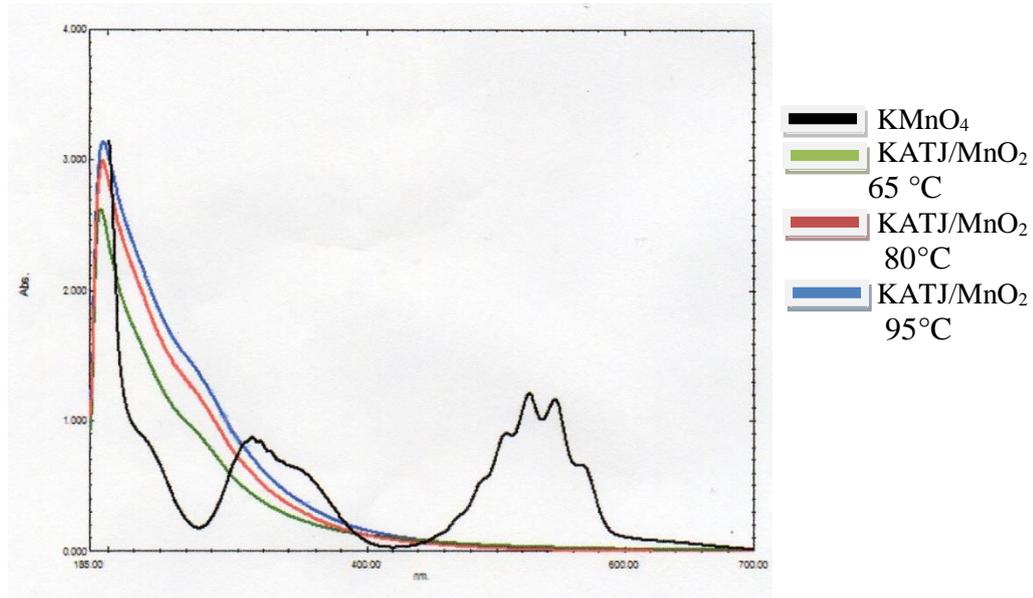
#### 4.5.3.2 data XRD



Gambar 18. Spektrum XRD karbon aktif tanpa deposisi dan dengan deposisi  $\text{MnO}_2$ (a) KATJ, (b) KATJ/ $\text{MnO}_2$  65 °C, (c) KATJ/ $\text{MnO}_2$  80 °C, dan (d) KATJ/ $\text{MnO}_2$  95 °C.

Data XRD menunjukkan bahwa sebelum deposisi menunjukkan tidak terbentuknya puncak pada sudut  $2\theta$ ; setelah deposisi dengan variasi suhu yaitu 65°C menunjukkan adanya 2 serapan pada sudut 36,94° dan 64,96° dengan ukuran partikel 12,1209 nm. Pada suhu 80°C juga menunjukkan adanya pembentukan 2 puncak dengan masing-masing sudut 36,94° dan 64,94° dengan ukuran partikel 8,4786 nm. Pada suhu 95°C memberikan 2 puncak dengan masing-masing sudut yaitu 36,96° dan 64,96° dengan ukuran partikel 15,7699 nm. Ketiga pengaruh suhu tersebut menunjukkan keberadaan adanya  $\text{MnO}_2$  dengan terbentuk 2 puncak baru pada  $2\theta$  sekitar 37° dan 65° bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Viscarini dkk. (2014).

#### 4.5.3.3 Spektrum UV-Vis



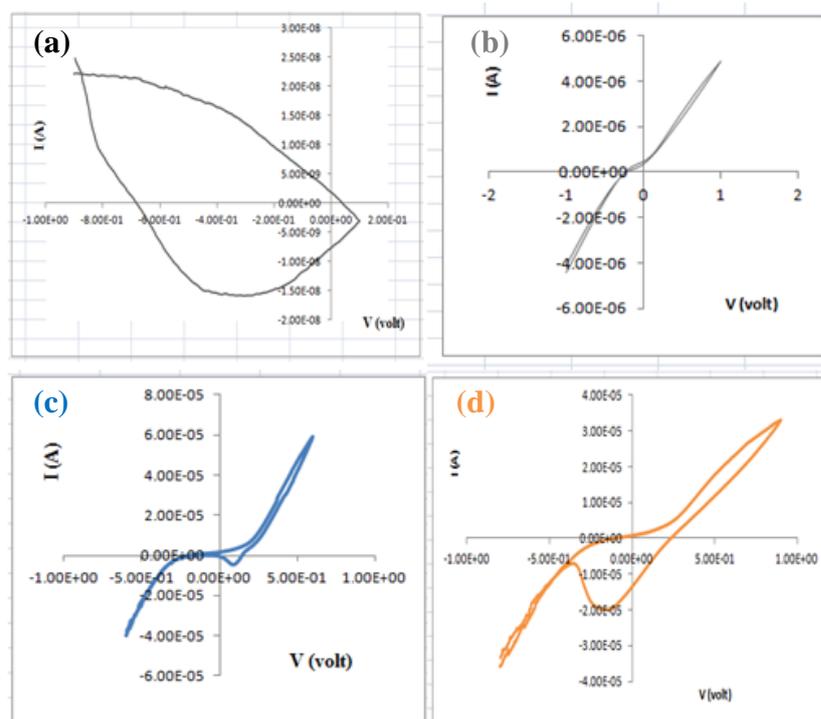
Gambar 19. Spektrum UV-Vis larutan  $\text{KMnO}_4$  dan filtrat hasil reduksi larutan  $\text{KMnO}_4$  oleh KATJ pada suhu  $65^\circ\text{C}$ ;  $80^\circ\text{C}$ ; dan  $95^\circ\text{C}$ .

Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan spektrum yang juga sangat jauh berbeda antara filtrat sebelum dan sesudah deposisi (Gambar 22). 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). Pada spektrum tersebut merupakan karakterisasi larutan dengan suhu yaitu  $65^\circ\text{C}$ ;  $80^\circ\text{C}$ ; dan  $95^\circ\text{C}$ . Filtrat yang dihasilkan berwarna coklat dimana larutan berbentuk koloid yang menandakan bahwa ada  $\text{MnO}_2$  yang berada pada larutan tersebut. Ketiga variasi konsentrasi dalam spektrum tersebut menunjukkan pola yang sama yaitu mulai memberikan serapan pada panjang gelombang *visible* (400 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. Ketiga spektrum puncak tersebut

menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu maka semakin tingginya intensitas serapan.

#### 4.5.3.4 Pengukuran Kapasitansi Spesifik

Gambar 19 merupakan voltammogram arus dan tegangan KATJ sebelum dan sesudah terdeposisi  $\text{MnO}_2$ . Pola siklik yang diperoleh antara KATJ 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 20. Voltammogram KATJ (a), KATJ/ $\text{MnO}_2$  (65 °C) (b), KATJ/ $\text{MnO}_2$  (80 °C) (c), dan KATJ/ $\text{MnO}_2$  (95 °C) (d)

Tabel 9 menunjukkan nilai kapasitansi spesifik KATJ sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  yang dilakukan pada suhu yang berbeda. Nilai kapasitansi spesifik untuk KATJ sebelum deposisi  $\text{MnO}_2$  sebesar 0,0066 mF. Sedangkan

untuk sampel karbon setelah deposisi pada suhu 65 °C, 80 °C, dan 95 °C diperoleh nilai kapasitansi spesifik berturut-turut sebesar 5,5919 mF, 58,0101 mF dan 102,363 mF. Hal ini mengindikasikan bahwa deposisi MnO<sub>2</sub> pada permukaan karbon menyebabkan kemampuan penyimpanan elektroda meningkat sekitar 8000 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>Laju scan (V/s)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>I<sub>c</sub> (mA)</b>	<b>I<sub>d</sub> (mA)</b>	<b>C<sub>s</sub> (mF/g)</b>
KATJ	0,1	0,0615	2,48734. 10 <sup>-5</sup>	-1,58819. 10 <sup>-5</sup>	0,0066
KATJ/MnO <sub>2</sub> (65 °C)	0,1	0,01665	0,004901	-0,00441	5,5919
KATJ/MnO <sub>2</sub> (80 °C)	0,1	0,01705	0,058857	-0,04005	58,0101
KATJ/MnO <sub>2</sub> (95 °C)	0,1	0,01825	0,054857	-0,13196	102,363

Keterangan: I<sub>c</sub> = arus *charge* (A); ; I<sub>d</sub> = arus *discharge* (A); C<sub>s</sub> adalah kapasitansi spesifik (F/g)

#### 4.5.4 Pengaruh pH

Deposisi MnO<sub>2</sub> dengan variasi pH dengan massa karbon, konsentrasi dan suhu yang sama juga memberikan pengaruh yang besar terhadap proses deposisi. Pada penelitian ini digunakan variasi pH yaitu dalam kondisi asam, basa dan netral.

#### 4.5.4.1 Data XRF

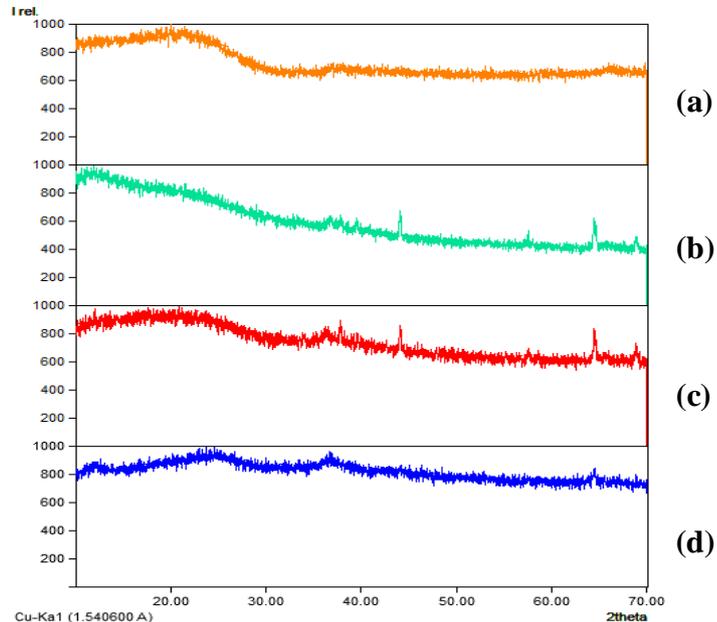
Tabel 10. Komponen senyawa oksida dalam KATJ sebelum dan setelah deposisi MnO<sub>2</sub> asam; basa dan netral

Senyawa oksida	Sebelum deposisi (%)	Setelah deposisi (%)		
		asam	basa	netral
MnO	-	48,53	95,88	73,44
K <sub>2</sub> O	31,72		1,27	9,51
Cl	-	45,45	-	-
SiO <sub>2</sub>	31,88	5,38	-	-
ZnO	7,60	0,0990	0,831	0,526
CaO	15,32	0,53	0,50	-
TiO <sub>2</sub>	0,620	-	1,12	-
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-	-	0,052	0,043
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,043	-	-	0,0065
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10,17	-	0,336	0,237
SrO	0,039	-	0,0133	-

Sebelum deposisi kadar SiO<sub>2</sub> memiliki kadar paling tinggi yaitu 31,88%. Sedangkan kadar MnO<sub>2</sub> belum terdapat dalam sampel. Setelah deposisi kadar SiO<sub>2</sub> sudah tidak terdapat dalam sampel. Sedangkan kadar MnO<sub>2</sub> sudah terdapat dalam sampel. Dalam suasana asam dengan kadar 48,53%, peningkatan kadar paling tinggi dalam suasana basa dengan kadar 95,88%. Dan pada suasana netral menunjukkan kadar 73,44%. Penelitian ini menunjukkan kadar yang paling besar yang paling tinggi diantara ketiganya, yaitu dalam suasana basa. Suasana basa terjadi peningkatan kadar yang cukup signifikan dengan nilai 95,88%. (Meng dkk., 2013; Cotton dan Wilkinson, 1989) menyatakan bahwa pada pH tinggi, produk utama

yang terbentuk adalah  $\text{MnO}_2$  sedangkan pada pH rendah produk utamanya adalah  $\text{Mn}^{2+}$ .

#### 4.5.4.2 data XRD



Gambar 21. Spektrum XRD karbon aktif tanpa deposisi dan dengan deposisi  $\text{MnO}_2$  (a) KATJ, (b) KATJ/ $\text{MnO}_2$  asam, (c) KATJ/ $\text{MnO}_2$  basa, dan (d) KATJ/ $\text{MnO}_2$  netral.

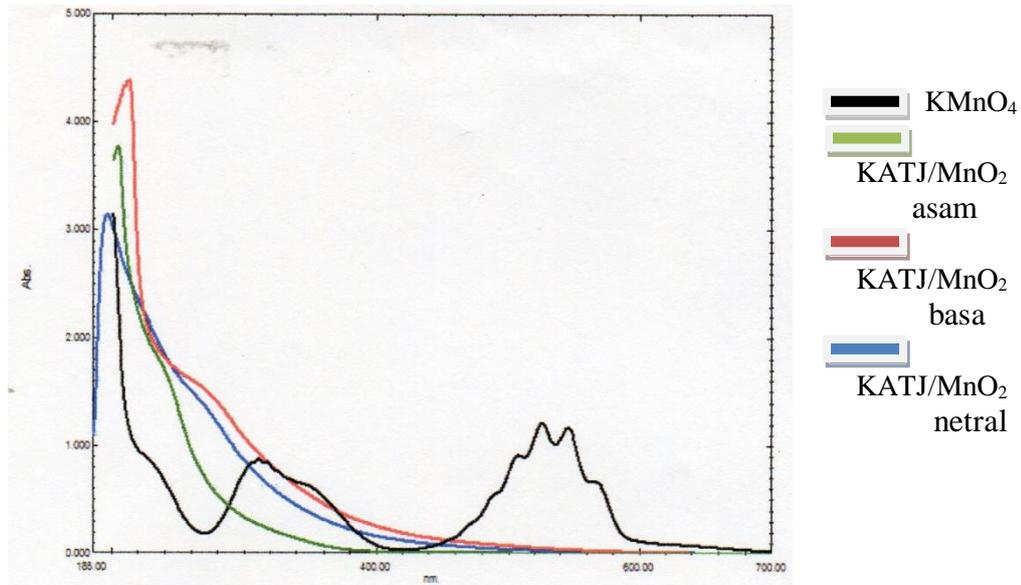
Data XRD menunjukkan pola difraksi yang sangat berbeda antara karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  (Gambar 15). Difraktogram untuk sampel karbon sebelum deposisi  $\text{MnO}_2$  menunjukkan adanya satu puncak lebar pada  $2\theta$   $20,81^\circ$  yang merupakan karakteristik dari struktur amorf karbon aktif tongkol jagung. Setelah deposisi dengan variasi pH yaitu asam menunjukkan adanya 2 puncak baru pada  $2\theta$   $44,65^\circ$  dan  $64,94^\circ$  dengan ukuran partikel  $15,8439$  nm. Suasana basa memberikan 2 puncak baru pada  $2\theta$   $36,97^\circ$  dan  $64,97^\circ$  dengan ukuran partikel  $13,0726$  nm.

Pada suasana netral juga menunjukkan adanya pembentukan 2 puncak baru pada  $2\theta$   $36,96^\circ$  dan  $64,96^\circ$  dengan ukuran partikel  $15,7699$  nm. Kedua puncak dari variasi pH tersebut menunjukkan keberadaan adanya  $\text{MnO}_2$  dengan

terbentuk 2 puncak baru pada  $2\theta$  sekitar  $37^\circ$  dan  $65^\circ$  bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Viscarini dkk. (2014).

Ketiga pengaruh pH tersebut dapat disimpulkan bahwa telah terjadi deposisi  $MnO_2$  pada permukaan karbon aktif.

#### 4.5.4.3 Spektrum UV-Vis



Gambar 22. Spektrum UV-Vis larutan  $KMnO_4$  dan filtrat hasil reduksi larutan  $KMnO_4$  oleh KATJ pada suasana asam, basa, dan netral

Menurut Zakir dkk (2005), reduksi  $TcO_4^-$  (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  $TcO_2$  sedangkan pada pH kurang dari 3 produk yang dominan terbentuk adalah fraksi Tc(IV) polimerik dalam bentuk ion  $Tc_3O_4^{4+}$  yang merupakan prekursor dari koloid  $TcO_2 \cdot nH_2O$  yang dapat diperoleh dengan meningkatkan pH. Sehingga, semakin tinggi pH maka semakin banyak  $MnO_2$  koloidal yang dihasilkan dan begitupun sebaliknya. Dalam penelitian ini, absorbansi tertinggi terjadi pada suasana basa yang mengindikasikan  $MnO_2$  yang terdispersi banyak. Sedangkan spesi terlarut dalam suasana asam yang ditawarkan berupa ion  $Mn_3O_4^{4+}$  (Mn(IV) polimerik). Hal ini

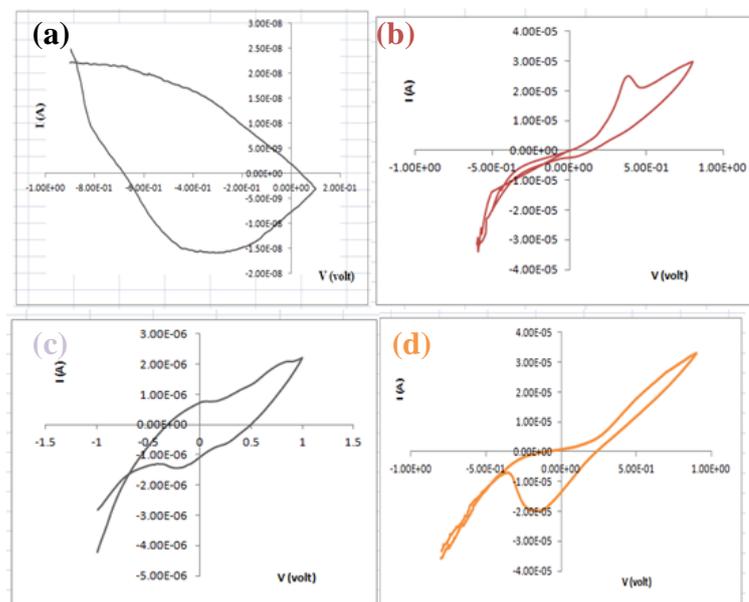
terbukti dengan terbentuknya  $\text{MnO}_2$  saat pH filtrat ditingkatkan melalui penambahan NaOH seperti ditunjukkan pada Gambar 23.



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

#### 4.5.4.4 Pengukuran Kapasitansi Spesifik

Karakteristik pengukuran kapasitansi spesifik dilakukan dengan menggunakan metode voltametri siklik dan pengujian elektroda dilakukan dengan laju *scan* 100 mV/s. Gambar 20 menunjukkan voltammogram dari elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah modifikasi.



Gambar 24. Voltammogram KATJ (a), KATJ/ $\text{MnO}_2$  (asam) (b), KATJ/ $\text{MnO}_2$  (basa) (c), dan KATJ/ $\text{MnO}_2$  (netral) (d)

Voltammogram arus dan tegangan KATJ sebelum dan sesudah terdepresiasi  $\text{MnO}_2$ . Pola siklik yang diperoleh antara KATJsebelum 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.

Nilai kapasitansi spesifik dari elektroda pasta karbon aktif sebelum dan sesudah deposisi ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Data *cyclic voltammetry* elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah deposisi  $\text{MnO}_2$  pada suasana yang berbeda

<b>Elektroda Pasta karbon</b>	<b>Laju scan (V/s)</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>I<sub>c</sub> (mA)</b>	<b>I<sub>d</sub> (mA)</b>	<b>C<sub>s</sub> (mF/g)</b>
KATJ	0,1	0,0615	$2,48734 \cdot 10^{-5}$	$-1,58819 \cdot 10^{-5}$	0,0066
KATJ/ $\text{MnO}_2$ (asam)	0,1	0,0156	0,029666	-0,03394	40,7754
KATJ/ $\text{MnO}_2$ (basa)	0,1	0,0155	0,002219	-0,00421	4,1456
KATJ/ $\text{MnO}_2$ (netral)	0,1	0,01825	0,054857	-0,13196	102,363

Keterangan: I<sub>c</sub> = arus *charge* (A); ; I<sub>d</sub> = arus *discharge* (A); C<sub>s</sub> adalah kapasitansi spesifik (F/g)

Nilai kapasitansi spesifik paling tinggi yang dihasilkan oleh elektroda pasta karbon yaitu KATJ/ $\text{MnO}_2$  dala suasana netral dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 102,363 mF/g. Selain itu, karbon aktif terdeposisi KATJ/ $\text{MnO}_2$  asam dengan nilai kapasitansi 40,7754 mF/g dan KATJ/ $\text{MnO}_2$  basa dengan nilai kapasitansi 4,1456 mF/g juga mengalami peningkatan dibandingkan sebelum deposisi dengan nilai kapasitansi spesifik hanya sebesar 0,0066 mF/g. Nilai kapasitansi yang tinggi pada hasil deposisi dalam suasana netral. Hal tersebut dapat disebabkan karena dengan banyaknya  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi justru

menutupi pori-pori sehingga proses adsorpsi ion oleh karbon menjadi lebih sedikit yang menyebabkan kapasitasnya menjadi berkurang.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

#### **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 KATJ. Agar  $\text{MnO}_2$  yang terdeposisi maksimum, proses deposisi dilakukan dengan cara mereaksikan 0,6 gram KATJ dan  $\text{KMnO}_4$  0,025 M pada suhu  $95\text{ }^\circ\text{C}$  dalam suasana netral, dan
2. deposisi  $\text{MnO}_2$  dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tongkol jagung hingga 15000 kali lipat dari sebelumnya.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai cara pembuatan elektroda karbon serta jenis dan pengaruh konsentrasi elektrolit dalam penentuan kapasitansi spesifik karbon aktif.
2. untuk peneliti selanjutnya, sebaiknya digunakan metode lain yang lebih akurat dalam pengukuran nilai kapasitansi spesifiknya, 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

- Alfiandy, H., Bahri, S., Nurakhirawati, 2013, Kajian Penggunaan Arang Aktif Tongkol Jagung sebagai Adsorben Logam Pb dengan Beberapa Aktivator Asam, *Jurnal Natural Science*, **2** (3), 75-86.
- Amelia, R., Harlanto, P., dan Purwanto., 2013, Pembuatan dan Karakteristik Katalisis Karbon Aktif Tersulfonasi sebagai Katalisis Ramah Lingkungan pada Proses Hidrolisis Biomassa, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, **2** (4), 145-156.
- 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.
- Ariyanto, T., Prasetyo, I., dan Rochmadi, 2012, Pengaruh Struktur Pori terhadap Kapasitansi Elektroda Supercapacitor yang Dibuat dari Karbon Nanopori, *Reaktor*, Vol. **14** (1), 25-32.
- 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 dan Direktorat Jendral Tanaman Pangan, 2012, *Statistika Indonesia*, Jakarta.
- Bakri, F., 2014, *Pembuatan dan Karakterisasi Hidrogel Polimer Konduktif Berbasis Arang Aktif sebagai Bahan Supercapacitor*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Chacon-Patino, M. L., Blanco-Tirado, C., Hinesfroza, J. P., and Combariza, M. Y., 2013, Biocomposite of Nanodstructure MnO<sub>2</sub> and Fique Fibers for Efficient Dye Degradations Green Chemistry, DOI: 10.1039C36C40911B.
- Chen, M., Kang, X., Wumaier, T., Dou, J., Gao, B., Han, Y., Xu, G., Liu, Z., Zhang, L., 2013, Preparation of activated carbon from cotton stalk and its application in supercapacitor, *J Solid State Electrochem*, **17**; 1005–1012.
- Cotton, F. A., dan Wilkinson, G., 1989, *Kimia Anorganik Dasar*, UI-Press, Jakarta.

- Danarto, Y.C., dan Samun, T., 2008, Pengaruh Aktivasi Karbon Dari Sekam Padi Pada Proses Adsorpsi Logam Cr(VI), *Ekilibrium*, **7**(1): 13– 6.
- Daud, Wan, W.M.A., Wan, W.S., Zaki, M., 2000, The Effects of Carbonization Temperature on Pore Development in Palm Shell Gased Activated Carbon, *Carbon*, **38**, 1925-1932.
- Fauziyah, R., Zakir, M., dan Maming., 2015, Elektrodeposisi Logam Pb Pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi Bebas Silika Dengan Iradiasi Ultrasonik, Skripsi diterbitkan, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Fachry, A.R., Astuti, P., Puspitasari, T.G., 2013, Pembuatan Bietanol dari Limbah Tongkol jagung dengan Variasi Konsentrasi, Asam klorida dan Waktu Fermentasi, *Jurnal Teknik Kimia*, **19**(1): 60-69.
- Fitriana, F.N., 2014, Sintesis dan Karakterisasi Superkapasitor berbasis Nanokomposit TiO<sub>2</sub> /C, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang, Malang.
- Frackowiak, E., dan Beguin, F., 2001. Carbon materials for the electrochemical storage of energi in capacitors, *Carbon*, **39**(1): 937-950.
- Halper M.S., and Ellenbogen, J.C., 2006. *Supercapacitors: A Brief Overview*. Virginia: MITRE Nanosystems Group.
- Herniyanti, S., Taer, E., dan Sugianto., 2014, Pengaruh Aktivasi Karbon Dioksida pada Produksi Karbon Aktif Monolit dari Kayu Karet, *JOM FMIPA*, **1** (2), 205-210.
- 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.
- Jayalakshmi, M., dan Balasubramanian, K., 2008, Simple Capacitors to Supercapacitors - An Overview, *Int. J. Electrochem. Sci*, **3**; 1196 – 1217.
- Juliandini, F., dan Trihadiningrum, Y., 2008, Uji Kemampuan Karbon Aktif dari Limbah Kayu dalam Sampah Kota untuk Penyisihan Fenol, *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi VII, D2-1-2-11*.
- 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
- 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.

- Lorenz, K.J., Kulp, K., 1991, *Handbook of Cereal Science and Technology*, Marcel Dekker, New York.
- Lumempouw, L.I., Edi,S., dan Jessy, J.E.P., 2012, Aktivitas Anti UV-B Ekstrak Fenolik dari Tongkol Jagung (*Zea mays L.*), *Jurnal Mipa Unsrat Online*, **1** (1), 1-4.
- 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.
- Miller, J.R., dan Burke, A.F., 2008, Electrochemical Capacitors: Challenges and Opportunities for Real-World Applications, *The Electrochemical Society Interface Spring*, 53-57.
- 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.
- 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.
- Nugroho, M.A. 2011. *Rancang Bangun Sistem Sumber Daya Tag Aktif RFID Berbasis Tenaga Surya dengan Superkapasitor sebagai Media Penyimpanan Energi*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Patake, V.D., Patake, C.D., Joo, O.S., 2009, Electrodeposited ruthenium oxide thin films for supercapacitor: Effect of surface treatments, *Applied Surface Science*, **255**; 4192–4196.
- Pinero, I.R., Leroux, F., Beguin, F., 2006, A High-Performance Carbon for Supercapacitors Obtained by Carbonization of a Seaweed Biopolymer, *Adv. Mater*, **18**; 1877–1882.
- Prabunathan, P., Sethuraman, K., Alagar, M., 2014, MnO<sub>2</sub>-doped, polyaniline grafted rice husk ash nanocomposites and their electrochemical capacitor applications, *Royal Society of Chemistry*, **4**; 47726.
- Prasetyo, Y., Nasrudin, H., 2013, Penentuan Konsentrasi ZnCl<sub>2</sub> Pada Proses Pembuatan karbon Aktif Tongkol Jagung dan Penurunan Konsentrasi Surfaktan Linier Alkyl Benzene Suphonate (LAS), *Unesa Journal of Chemistry*, **2** (3), 231-235.

- Qu, W.H., Xu, Y.Y., Lu, A.H., Zhang, X.Q., Li, W.C., 2015, Converting Biowaste Corncob Residue Into High Value Added Porous Carbon for Supercapacitor Electrodes, *Bioresource Technology*, ISSN, 0960-8524.
- Ramdja, A.F., Halim, M., Handi, J., 2008, Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa (*Cocus nucifera*), *J. Tek.Kim*, **15** (2), 1-8.
- Rahayu, A.N.R., Adhitiyawarman, 2014, Pemanfaatan Tongkol Jagung sebagai Adsorben Besi pada Air Tanah, *JKK*, **3** (3), 7-13.
- Ramli, T.A, Zakir, M., dan Ramang, M., 2015, *Sintesis Dan Karakterisasi Karbon Nanopori Sekam Padi (Oryza Sativa) Melalui Iradiasi Ultrasonik Dengan Aktivator KOH Sebagai Bahan Kapasitor Elektrokimia*, Skripsi diterbitkan, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Richana, N., Lestina, P., Irawadi, T.T., 2004, Karakterisasi Lignoselulosa Xylan dari limbah Tanaman Pangan dan Pemanfaatannya untuk Pertumbuhan Bakteri, RXA III-5 Penghasil Xilanase, *J. Penelitian Pertanian*, **23**; 171-176.
- 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.
- Sekine, T., Narushima, H., Suzuki, T., Takayama, T., Kudo, H., Lin, M., Katsumura, Y., 2004, Technetium(IV) oxide colloids produced by radiolytic reactions in aqueous pertechnetate solution, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, **249**; 105–109
- Sudrajat, R. dan Pari, G. 2011. *Arang aktif: Teknologi pengolahan dan masa depannya*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Sulistiyawati, S., 2008, *Modifikasi Tongkol Jagung sebagai Adsorben Logam Berat Pb(II)*, Skripsi diterbitkan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Shukla, A.K., S. Sampath, S., and Vijayoman, K.. 2000. *Electrochemical Supercapacitor : Energy Storage Beyond Batteries*, *Current Science*, **79** (12), 1-6.
- Su, D.S., and Schlog, R., 2010, Nanostructured Carbon and Carbon Nanocomposites for Electrochemical Energy Storage Applications, *ChemSusChem*, **3**; 136-168.
- Sudrajat, R. dan Pari, G. 2011. *Arang aktif: Teknologi pengolahan dan masa depannya*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.

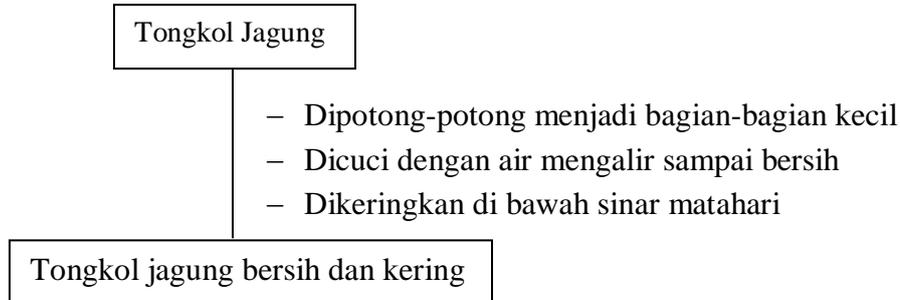
- Surest, A.H., Kasih, J.A.F. dan Wisanti, A., 2008, Pengaruh Suhu, Konsentrasi Zat Aktivator dan Waktu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri, *J. Tek. Kim.*, **15** (2): 17-21.
- Suryani, A.M., 2009, *Pemanfaatan Tongkol Jagung untuk Pembuatan Arang Aktif sebagai Adsorben Pemurnian Minyak Goreng Bekas*, Skripsi diterbitkan, Departemen Kimia, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- 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.
- 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.
- Winter, M. and Brodd, R.J., 2004, What Are Batteries, Fuel Cells and Supercapacitors?, *Chem. Rev.*, **104** (10), 4245-4269.
- Wungkana, I., Suryanto, E., Momuat, L., 2013, Aktivitas Antioksidan dan Tabir Surya Fraksi Fenolik dari Limbah Tongkol Jagung (*Zea mays L.*), *Jurnal Ilmiah Farmasi Unsrat*, **2** (4), 149-155.
- Xing, L., Cui, C. M, C., Xue, X., 2011, Facile synthesis of  $\alpha$ -MnO<sub>2</sub>/graphene nanocomposites and their high performance as lithium-ion battery anode, *Material letter*, Vol 65, 2104-2106.
- 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 Per technetate Solution, *J. Nucl. Radiochem. Sci.*, **6** (3), 243-247.

- Zhang, X., Sun, X., Zhang, H., Zhang, D., Ma, Y., 2012, Development of redox deposition of birnessite-type MnO<sub>2</sub> on activated carbon as high-performance electrode for hybrid supercapacitors, *Materials Chemistry and Physics*, 137, 290-296.
- Zhang, Y., Feng, H., Wu, X., Wang, L., Zhang, A., Xia, T., Dong, H., Li, X., Zhang, L., 2009, Progress of Electrochemical Capacitor Electrode Materials : A Review, *Int. J. Hydrogen Energy*, **34**, 4889-4899.
- Zhu, Z., Hu, H., Li, W., and Zhang, X., 2007, Resorcinol Formaldehyde Based Porous Carbon as an Electrode Material for Supercapacitors, *Carbon*, vol 45, 160-165.

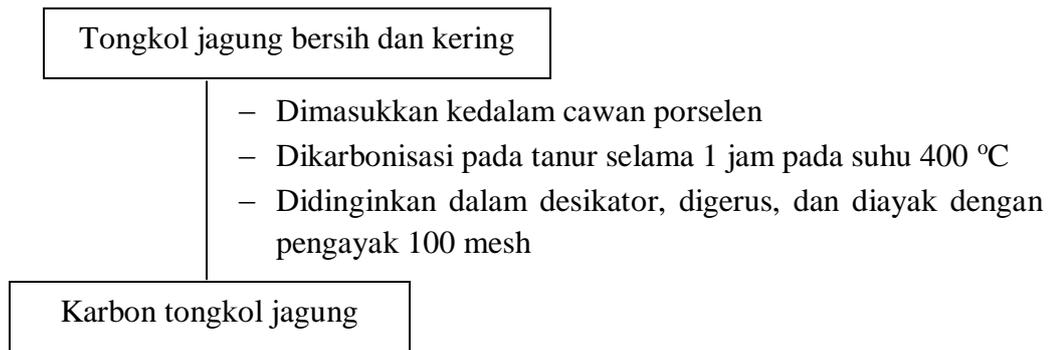
## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Skema Prosedur Kerja

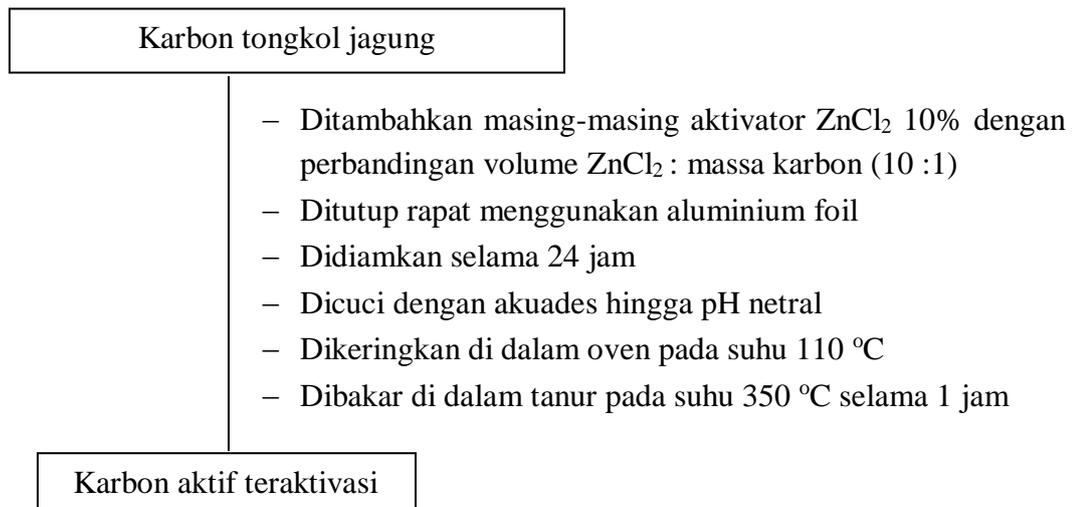
#### 1. Skema Kerja Preparasi Sampel



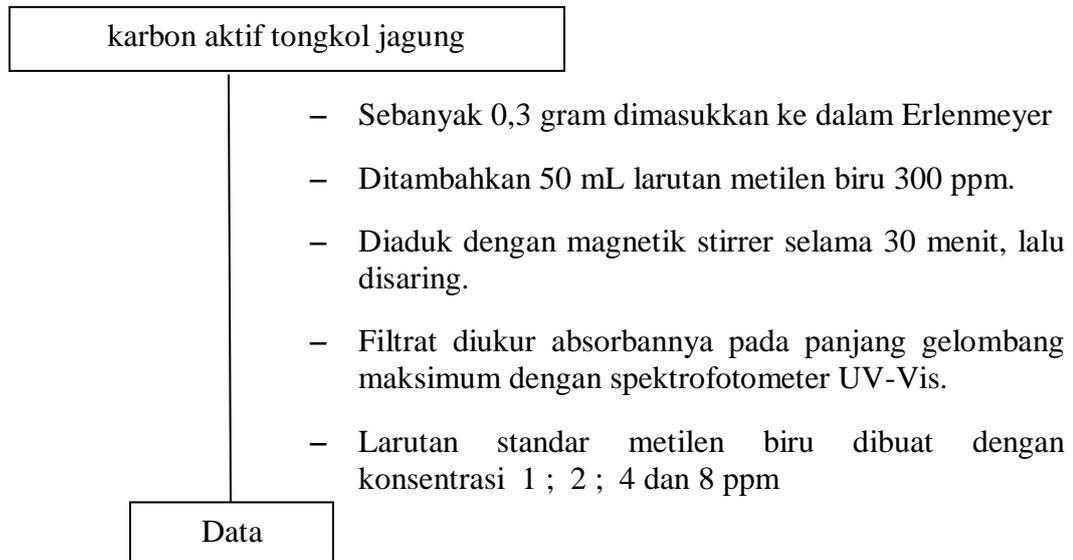
#### 2. Skema Kerja Karbonisasi



#### 3. Skema Kerja Aktivasi

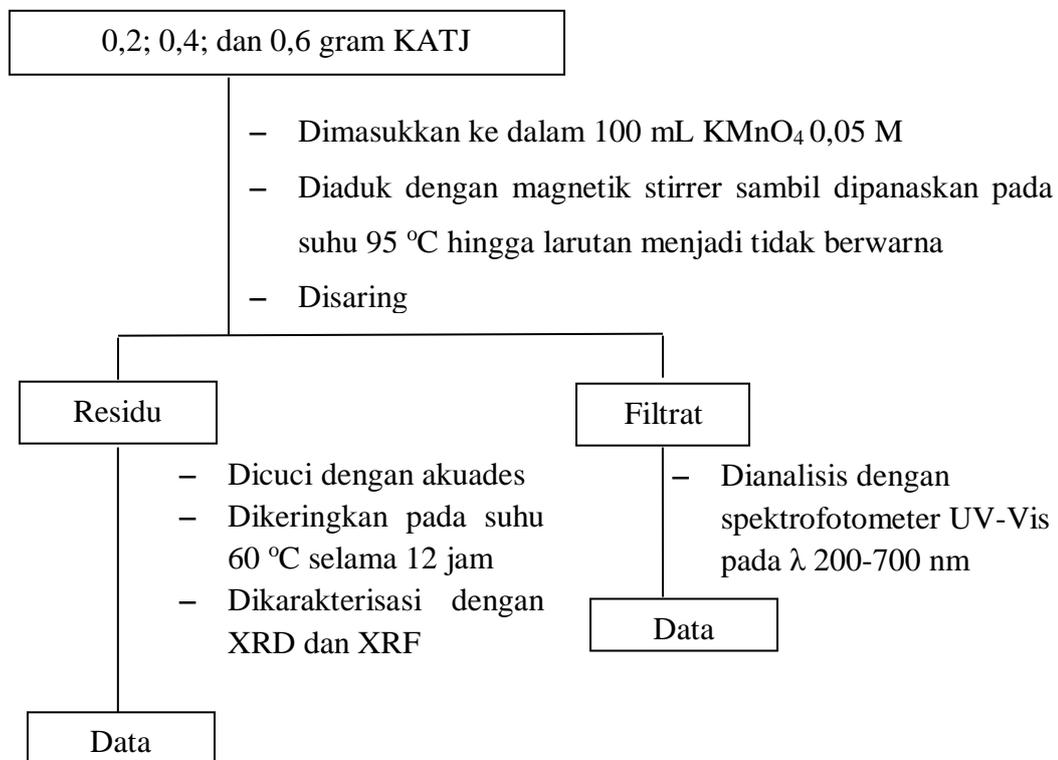


#### 4. Skema Kerja Penentuan Luas Permukaan

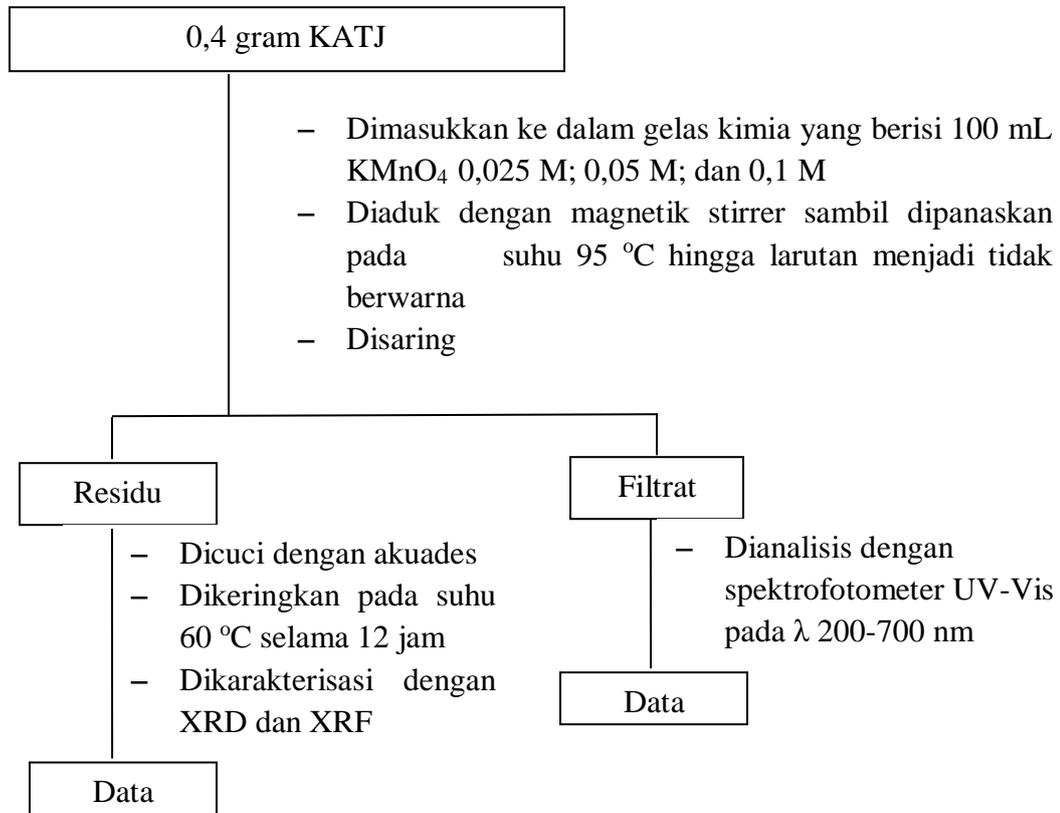


#### 5. Deposisi redoks nanopartikel $MnO_2$ pada Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung

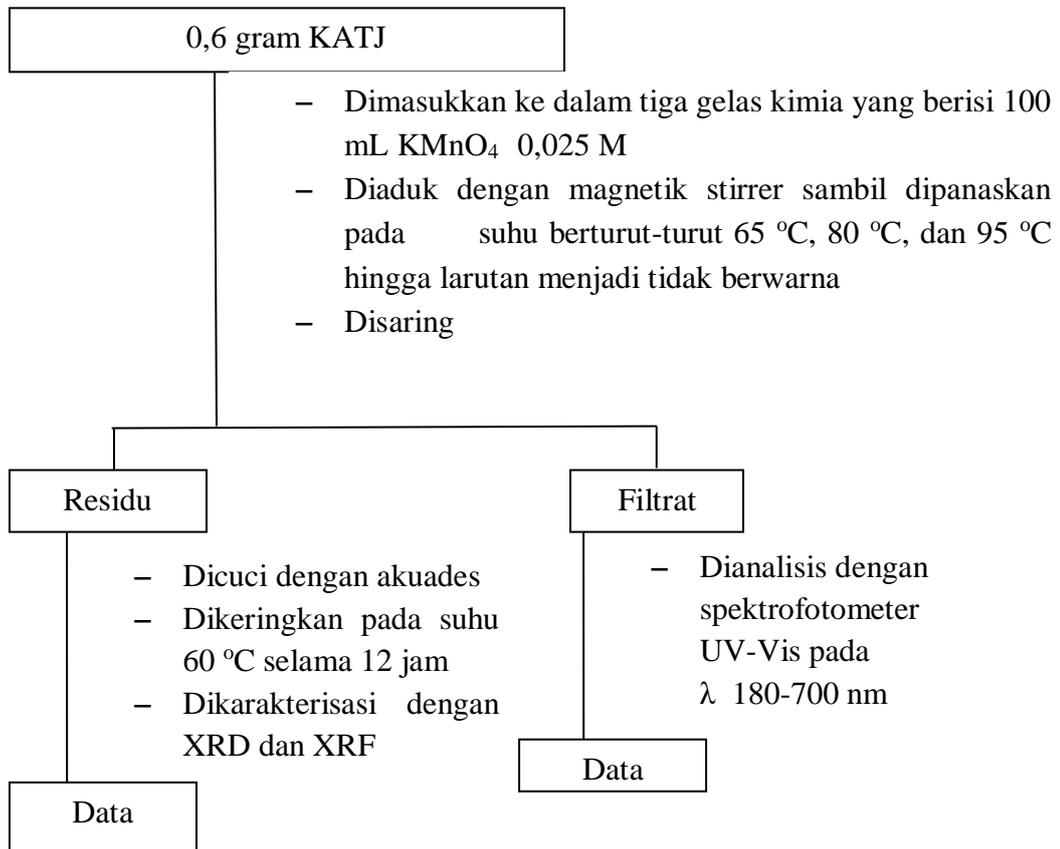
##### 5.1 Pengaruh Massa Karbon Aktif



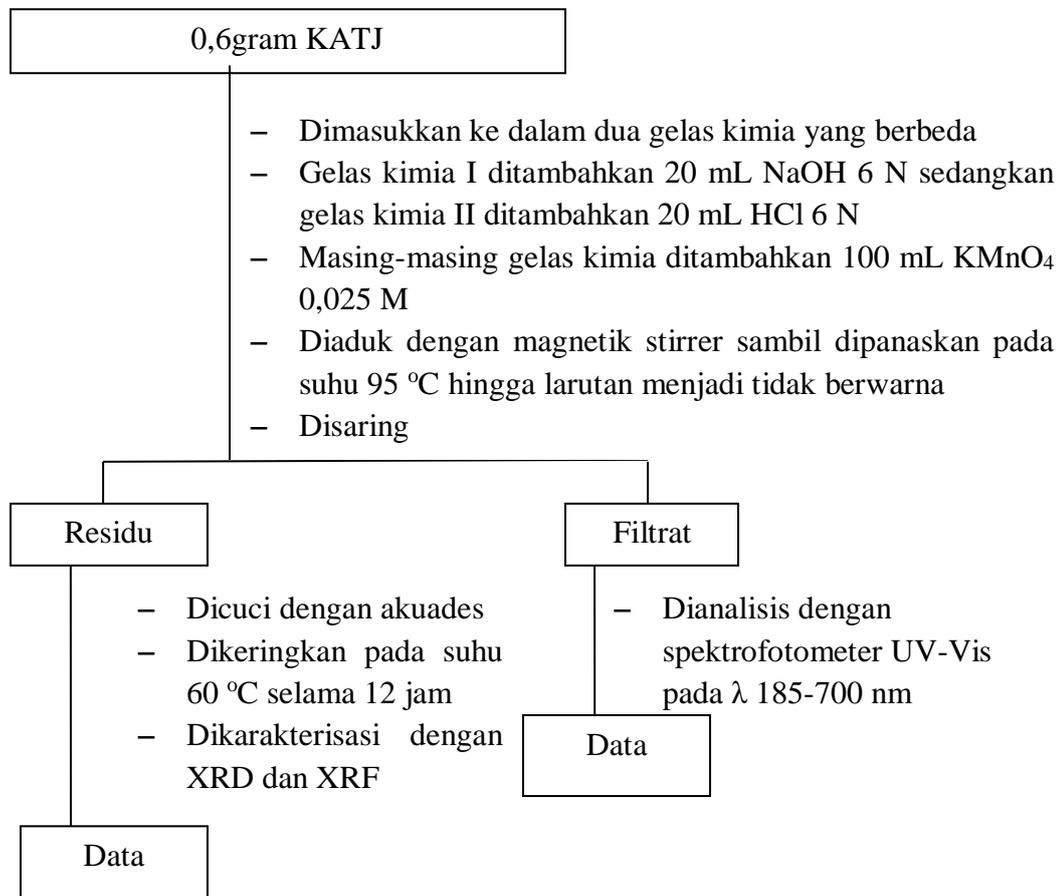
## 5.2 Pengaruh Konsentrasi $\text{KMnO}_4$



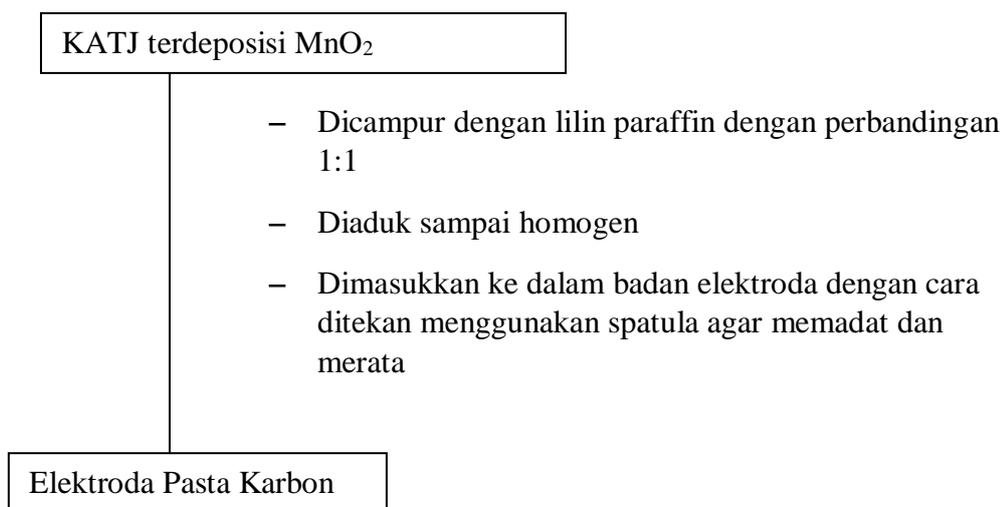
## 5.3 Pengaruh Suhu



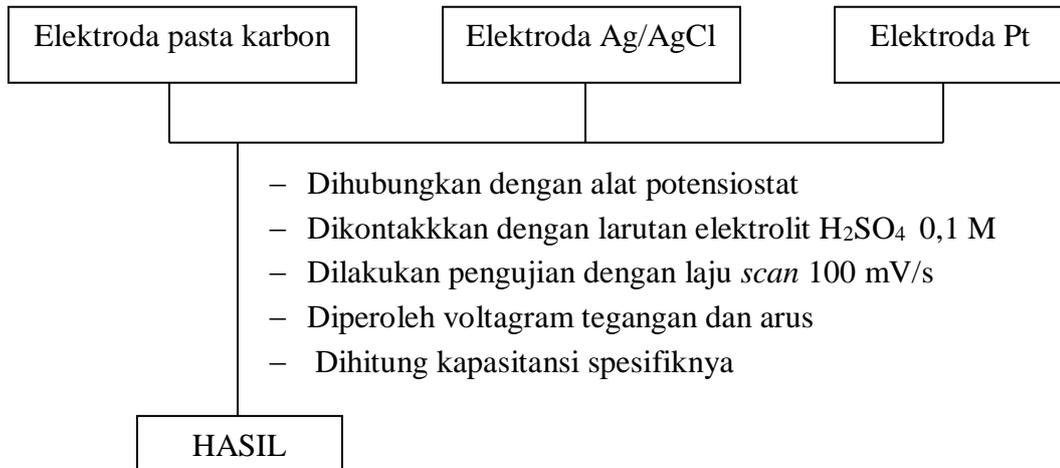
## 5.4 Pengaruh pH



## 6. Skema Kerja Pembuatan Elektroda Pasta Karbon



## 7. Skema Kerja Pengukuran Kapasitansi Spesifik



## Lampiran 2. Perhitungan Luas Permukaan Karbon Aktif

sampel	Absorbansi (A)	Akhir (ppm) (Ce)	Awal (ppm) (Co)	Volume Larutan (L)	Massa Karbon (g)	Xm (mg/g)	S (m <sup>2</sup> /g)
Tanpa aktivasi	0,350	48,628	300	0,05 L	0,3	41,8953	155,0244
Setelah aktivasi	0,327	18,562	300	0,05 L	0,3	46,9063	173,5665

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

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

### 1. Luas Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung sebelum Aktivasi

$$y = 0,153x + 0,3128$$

$$0,350 = 0,153x + 0,3128$$

$$x = C_e = 0,24314 \text{ ppm} \times \text{fp } 200x = 48,628 \text{ ppm}$$

$$A = 0,350$$

$$C_e = 48,628 \text{ ppm}$$

$$N = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_o = 300 \text{ ppm}$$

$$g = 0,3 \text{ gram}$$

$$a = 197 \times 10^{-20} \text{ m}^2$$

$$M_r = 320,5 \text{ g/mol}$$

$$X_m = \frac{(C_o - C_e) \times V}{g}$$

$$= \frac{(300 - 48,62) \times 0,05 \text{ L}}{0,3 \text{ g}}$$

$$= 41,8953 \text{ mg/g.}$$

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

$$= \frac{41,8953 \frac{\text{mg}}{\text{g}} \times 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 197 \times 10^{-20} \text{ m}^2}{320,5 \text{ g/mol}}$$

$$= 155,0244 \text{ m}^2/\text{g}.$$

## 2. Luas Permukaan Karbon Aktif Tongkol Jagung setelah Aktivasi

$$y = 0,153x + 0,3128$$

$$0,327 = 0,153x + 0,3128$$

$$x = C_e = 0,0928 \text{ ppm} \times f_p \times 200x = 48,628 \text{ ppm}$$

$$A = 0,327 \quad C_e = 18,562 \text{ ppm} \quad N = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_o = 300 \text{ ppm} \quad g = 0,3 \text{ gram} \quad a = 197 \times 10^{-20} \text{ m}^2$$

$$M_r = 320,5 \text{ g/mol}$$

$$X_m = \frac{(C_o - C_e) \times V}{g}$$

$$= \frac{(300 - 18,562) \times 0,05 \text{ L}}{0,3 \text{ g}}$$

$$= 46,9063 \text{ mg/g}.$$

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

$$= \frac{46,9063 \frac{\text{mg}}{\text{g}} \times 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 197 \times 10^{-20} \text{ m}^2}{320,5 \text{ g/mol}}$$

$$= 173,5665 \text{ m}^2/\text{g}.$$

### Lampiran 3. Perhitungan Ukuran Partikel

Persamaan Schreerer:

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

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) =  $(\beta_{ins}^2 - \beta_{match}^2)^{1/2}$

K = Faktor bentuk dari kristal (0,98)

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

#### 1. Pengaruh Massa KATJ terhadap Deposisi MnO<sub>2</sub>

**Tabel 1.** KATJ 0,2 g/MnO<sub>2</sub>

2 $\theta$	$\theta$	$\beta$ Inst.	$\beta$ Match	$\beta$ (derajat)	$\beta$ (radian)	D (nm)
37,2000	18,6000	1,3600	0,1600	1,3506	0,0236	6,7615
67,2400	33,6200	1,2800	0,1600	1,2699	0,0222	8,18399
Rata-rata 7,4728						

**Tabel 2.** KATJ 0,4 g/MnO<sub>2</sub>

2 $\theta$	$\theta$	$\beta$ Inst.	$\beta$ Match	$\beta$ (derajat)	$\beta$ (radian)	D (nm)
37,0600	18,5300	1,4480	0,1600	1,4391	0,0251	6,3427
64,6400	32,3200	0,4400	0,1600	0,4099	0,0072	24,9867
Rata-rata 15,6647						

**Tabel 3.** KATJ 0,6 g/MnO<sub>2</sub>

<b>2<math>\Theta</math></b>	<b><math>\Theta</math></b>	<b><math>\beta</math> Inst.</b>	<b><math>\beta</math> Match</b>	<b><math>\beta</math> (derajat)</b>	<b><math>\beta</math> (radian)</b>	<b>D (nm)</b>
36,8600	18,4300	1,9500	0,1600	1,9434	0,0339	4,6941
64,2800	32,1400	0,2320	0,1600	0,1680	0,0029	60,8407
Rata-rata 32,7674						

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

**Tabel 4.** KATJ/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,025 M)

<b>2<math>\Theta</math></b>	<b><math>\Theta</math></b>	<b><math>\beta</math> Inst.</b>	<b><math>\beta</math> Match</b>	<b><math>\beta</math> (derajat)</b>	<b><math>\beta</math> (radian)</b>	<b>D (nm)</b>
36,6	18,3	1,184	0,1600	1,173139	0,020465	7,770489
64,5021	32,25105	0,7443	0,1600	0,726899	0,01268	14,07859
Rata-rata 10,92454						

**Tabel 5.** KATJ/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,1M)

<b>2<math>\Theta</math></b>	<b><math>\Theta</math></b>	<b><math>\beta</math> Inst.</b>	<b><math>\beta</math> Match</b>	<b><math>\beta</math> (derajat)</b>	<b><math>\beta</math> (radian)</b>	<b>D (nm)</b>
37,28	18,64	1,26	0,1600	1,2498	0,0218	7,3083
63,96	31,98	0,2	0,1600	0,12	0,0021	85,0281
Rata-rata 46,1682						

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

**Tabel 6.** KATJ/MnO<sub>2</sub> suhu 65°

<b>2<math>\Theta</math></b>	<b><math>\Theta</math></b>	<b><math>\beta</math> Inst.</b>	<b><math>\beta</math> Match</b>	<b><math>\beta</math> (derajat)</b>	<b><math>\beta</math> (radian)</b>	<b>D (nm)</b>
37,4000	18,7000	1,3600	0,1600	1,3505	0,0236	6,7655
64,3600	32,1800	0,6066	0,1600	0,5851	0,0102	17,4763
Rata-rata 12,1209						

**Tabel 7.** KATJ/MnO<sub>2</sub> suhu 80°

2 $\Theta$	$\Theta$	$\beta$ Inst.	$\beta$ Match	$\beta$ (derajat)	$\beta$ (radian)	D (nm)
36,9600	18,4800	1,6000	0,1600	1,5920	0,0278	5,7321
64,9800	32,4900	0,9280	0,1600	0,9141	0,0159	11,2250
Rata-rata 8,4786						

**Tabel 8.** KATJ/MnO<sub>2</sub> suhu 95°

2 $\Theta$	$\Theta$	$\beta$ Inst.	$\beta$ Match	$\beta$ (derajat)	$\beta$ (radian)	D (nm)
37,7633	18,88165	0,7133	0,1600	0,695124	0,0121	13,1588
64,4384	32,2192	0,5791	0,1600	0,556558	0,0097	18,3811
Rata-rata 15,7699						

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

**Tabel 8.** KATJ/MnO<sub>2</sub> (asam)

2 $\Theta$	$\Theta$	$\beta$ Inst.	$\beta$ Match	$\beta$ (derajat)	$\beta$ (radian)	D (nm)
37,7241	18,8621	0,7417	0,1600	0,7242	0,0126	12,6284
64,4060	32,2030	0,5600	0,1600	0,5367	0,0094	19,0593
Rata-rata 15,8439						

**Tabel 9.** KATJ/MnO<sub>2</sub> (basa)

2 $\Theta$	$\Theta$	$\beta$ Inst.	$\beta$ Match	$\beta$ (derajat)	$\beta$ (radian)	D (nm)
38,6000	19,3000	0,9200	0,1600	0,9060	0,0158	10,1218
64,3810	32,1905	0,6580	0,1600	0,6383	0,0111	16,0233
Rata-rata 13,0726						

**Tabel 10.** KATJ/MnO<sub>2</sub> (netral)

2 $\Theta$	$\Theta$	$\beta$ Inst.	$\beta$ Match	$\beta$ (derajat)	$\beta$ (radian)	D (nm)
37,7633	18,88165	0,7133	0,1600	0,6951	0,01213	13,1588
64,4384	32,2192	0,5791	0,1600	0,5565	0,0097	18,3811
Rata-rata 15,7699						

## Lampiran 4. Perhitungan Kapasitansi Spesifik

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

Elektroda pasta karbon	Ic (mA)	Id (mA)	Laju scan (V/s)	Cs (mF/g)
KATJ	$2,48734 \cdot 10^{-5}$	$-1,58819 \cdot 10^{-5}$	0,1	0,00662
KATJ 0,2 g/MnO <sub>2</sub>	0,024838229	-0,089750623	0,1	18,6323
KATJ 0,4 g/MnO <sub>2</sub>	0,001036562	-0,031890312	0,1	5,3540
KATJ 0,6 g/MnO <sub>2</sub>	0,02556	-0,02453	0,1	8,1445

Keterangan: Massa Karbon = 0,0615 g

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

#### a. Karbon Aktif Tongkol Jagung (KATJ)

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{2,48734 \times 10^{-5} - (-1,58819 \times 10^{-5}) \text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,0615 \text{ gram}} \\ &= 0,00662 \text{ mF/g} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{0,024838229 - (-0,089750623) \text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,0615 \text{ gram}} \\ &= 18,63233 \text{ mF/g} \end{aligned}$$

#### c. KATJ 0,4 g/MnO<sub>2</sub>

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{0,001036562 - (-0,031890312) \text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,0615 \text{ gram}} \\ &= 5,3540 \text{ mF/g} \end{aligned}$$

#### d. KATJ 0,6 g/MnO<sub>2</sub>

$$C_s = \frac{0,02556 - (-0,02453) \text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,0615 \text{ gram}}$$

$$= 8,1445 \text{ mF/g}$$

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

Elektroda pasta karbon	$I_c$ (mA)	$I_d$ (mA)	Laju scan (V/s)	$C_s$ (mF/g)
KATJ	$2,48734 \cdot 10^{-5}$	$-1,58819 \cdot 10^{-5}$	0,1	0,0066
KATJ/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,025 M)	0,406187	-0,22981	0,1	109,6552
KATJ/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,05 M)	0,001036562	-0,031890312	0,1	5,3539
KATJ/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,1 M)	0,004819	-0,00462	0,1	5,91732

Keterangan: 1. Massa Karbon KATJ/ $\text{MnO}_2$  ( $\text{KMnO}_4$  0,025 M) = 0,058 g

2. Massa Karbon KATJ/ $\text{MnO}_2$  ( $\text{KMnO}_4$  0,05 M) = 0,0615 g

3. Massa Karbon KATJ/ $\text{MnO}_2$  ( $\text{KMnO}_4$  0,1 M) = 0,01595g

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

### a. KATJ/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,025 M)

$$C_s = \frac{0,406187 - (-0,22981)\text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,058 \text{ gram}}$$

$$= 109,6552 \text{ mF/g}$$

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

$$C_s = \frac{0,001036562 - (-0,031890312)\text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,0615\text{gram}}$$

$$= 5,3539 \text{ mF/g}$$

### c. KATJ/ $\text{MnO}_2$ ( $\text{KMnO}_4$ 0,1 M)

$$C_s = \frac{0,004819 - (-0,00462)\text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,01595 \text{ gram}}$$

$$= 5,91732 \text{ mF/g}$$

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

Elektroda pasta karbon	Ic (mA)	Id (mA)	Laju scan (V/s)	Cs (mF/g)
KATJ	$2,48734 \cdot 10^{-5}$	$-1,58819 \cdot 10^{-5}$	0,1	0,00662
KATJ/MnO <sub>2</sub> (65°C)	0,004901	-0,00441	0,1	5,5919
KATJ/MnO <sub>2</sub> (80°C)	0,058857	-0,04005	0,1	58,0101
KATJ/MnO <sub>2</sub> (95°C)	0,054857	-0,13196	0,1	102,363

Keterangan: 1. KATJ/MnO<sub>2</sub> (65°C) = 0,01665 g

2. KATJ/MnO<sub>2</sub> (80°C) = 0,01705 g

3. KATJ/MnO<sub>2</sub> (95°C) = 0,01825 g

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

### a. KATJ/MnO<sub>2</sub> (65°C)

$$C_s = \frac{0,004901 - (-0,00441)\text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,01665 \text{ gram}}$$

$$= 5,5919 \text{ mF/g}$$

### b. KATJ/MnO<sub>2</sub> (80°C)

$$C_s = \frac{0,058857 - (-0,04005)\text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,01705 \text{ gram}}$$

$$= 58,0101\text{mF/g}$$

### c. KATJ/MnO<sub>2</sub> (95°C)

$$C_s = \frac{0,054857 - (-0,13196)\text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,01825 \text{ gram}}$$

$$= 102,363 \text{ mF/g}$$

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

Elektroda pasta karbon	Ic (mA)	Id (mA)	Laju scan (V/s)	Cs (mF/g)
KATJ	$2,48734 \cdot 10^{-5}$	$-1,58819 \cdot 10^{-5}$	0,1	0,00662
KATJ/MnO <sub>2</sub> (asam)	0,029666	-0,03394	0,1	40,77544
KATJ/MnO <sub>2</sub> (basa)	0,002219	-0,00421	0,1	4,145565
KATJ/MnO <sub>2</sub> (netral)	0,054857	-0,13196	0,1	102,363

Keterangan: 1. KATJ/MnO<sub>2</sub> (asam) = 0,0156 g

2. KATJ/MnO<sub>2</sub> (basa) = 0,0155 g

3. KATJ/MnO<sub>2</sub> (netral) = 0,0182 g

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

### a. KATJ/MnO<sub>2</sub> (asam)

$$C_s = \frac{0,029666 - (-0,03394)\text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,0156 \text{ gram}}$$

$$= 40,77544 \text{ mF/g}$$

### b. KATJ/MnO<sub>2</sub> (basa)

$$C_s = \frac{0,002219 - (-0,00421)\text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,0155 \text{ gram}}$$

$$= 4,145565 \text{ mF/g}$$

### c. KATJ/MnO<sub>2</sub> (netral)

$$C_s = \frac{0,054857 - (-0,13196)\text{mA}}{0,1 \text{ V/s} \times 0,01825 \text{ gram}}$$

$$= 102,363 \text{ mF/g}$$

## Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan Penelitian



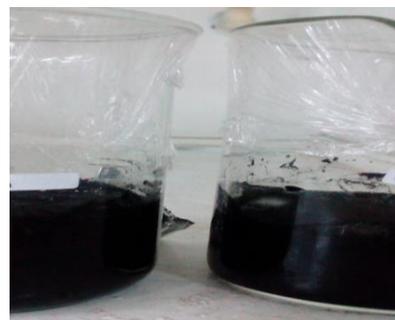
Sampel tongkol jagung



Karbon tongkol jagung



Karbon tongkol jagung yang telah diayak dengan pengayak 100 mesh



Proses aktivasi karbon tongkol jagung



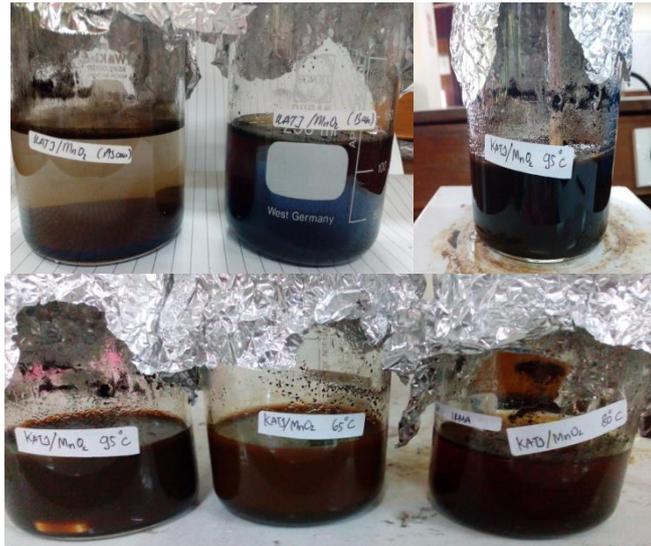
Karbon aktif tongkol jagung



Deret standar metilen biru



Proses deposisi  $\text{MnO}_2$



Setelah deposisi  $MnO_2$



Proses penyaringan karbon aktif terdeposisi  $MnO_2$



Proses pencucian karbon aktif terdeposisi  $MnO_2$



Karbon aktif sebelum dan setelah deposisi  $MnO_2$



Filtrat sebelum deposisi  $MnO_2$



Filtrat setelah deposisi  $MnO_2$



Badan elektroda

## Lampiran 6. Data Hasil Karakterisasi XRD

### 1. Karbon Aktif Tongkol Jagung (KATJ)

```

*** Basic Data Process ***

Group      : Standard
Data       : KATJ

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)        (A)                (deg)    (Counts)  (Counts)
  1  11      21.4200    4.14501  100  0.00000    141      0
  2  12      22.6800    3.91750  96   0.00000    135      0
  3  14      24.6200    3.61302  84   0.00000    119      0

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)        (A)                (deg)    (Counts)  (Counts)
  1  10.4700    8.44248   4   0.06000     6         38
  2  11.3858    7.76540  13  0.35830    19        339
  3  12.2733    7.20579  19  0.49330    27        753
  4  13.2300    6.68679  17  0.70000    24        803
  5  14.2250    6.22123  23  0.97000    32       1754
  6  15.2400    5.80910  18  0.00000    26         0
  7  16.5800    5.34250  40  1.56000    56       5144
  8  17.5600    5.04649  53  0.00000    75         0
  9  18.9400    4.68179  70  0.00000    99         0
 10  19.8200    4.47586  83  0.00000   117         0
 11  21.4200    4.14501 100  0.00000   141         0
 12  22.6800    3.91750  96  0.00000   135         0
 13  23.6600    3.75740  80  0.00000   113         0
 14  24.6200    3.61302  84  0.00000   119         0
 15  25.7000    3.46359  50  0.00000    70         0
 16  26.6600    3.34101  42  1.10660    59       4490
 17  28.1383    3.16875  17  0.54330    24         823
 18  29.1633    3.05967   9  0.23330    12        228
 19  30.1225    2.96439   4  0.07500     6         32
 20  32.2606    2.77263   5  0.09470     7         48
 21  33.6150    2.66395  11  0.57000    16        471
 22  34.6825    2.58436   5  0.06500     7         36
 23  36.7000    2.44679  40  0.92000    56       4017
 24  37.9400    2.36962  34  0.00000    48         0
 25  38.7400    2.32251  19  0.72000    27       1930

```

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

```

# Data Infomation
Group      : Standard
Data       : KATJ
Sample Nmae : serbuk
Comment    :
Date & Time : 02-08-17 11:22:51

# 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. KATJ 0,2 g/MnO<sub>2</sub>

```

*** Basic Data Process ***

: Standard
: KATj#MnO2#02gram

ongest 3 peaks
peak 2Theta d I/I1 FWHM Intensity Integrated I
no. (deg) (A) (deg) (Counts) (Counts)
25 37.2000 2.41504 100 1.36000 82 5653
56 66.3033 1.40860 98 1.15330 80 3871
26 37.9800 2.36722 80 0.00000 66 0

k Data List
peak 2Theta d I/I1 FWHM Intensity Integrated I
no. (deg) (A) (deg) (Counts) (Counts)
1 11.1600 7.92200 33 0.46660 27 766
2 12.4600 7.09824 50 1.48000 41 3315
3 13.3800 6.61217 60 0.00000 49 0
4 14.2000 6.23213 60 0.00000 49 0
5 15.2000 5.82429 63 1.00000 52 4170
6 16.3800 5.40728 38 0.00000 31 0
7 17.4600 5.07516 40 0.00000 33 0
8 18.4200 4.81277 43 0.00000 35 0
9 20.2400 4.38392 56 1.45000 46 4708
10 21.1600 4.19535 62 0.00000 51 0
11 22.6200 3.92775 79 0.00000 65 0
12 23.8000 3.73562 79 0.00000 65 0
13 24.8800 3.57585 77 0.00000 63 0
14 26.0200 3.42171 57 0.00000 47 0
15 26.8800 3.31416 41 0.00000 34 0
16 27.8800 3.19752 39 0.00000 32 0
17 28.4800 3.13150 33 0.45720 27 1302
18 29.7810 2.99760 27 0.13800 22 247
19 30.4833 2.93012 16 0.52670 13 497
20 31.2233 2.86234 6 0.03330 5 13
21 32.2600 2.77268 17 0.44000 14 382
22 33.1600 2.69946 28 0.52000 23 639
23 34.1350 2.62455 32 0.70000 26 834
24 35.4016 2.53350 4 0.01670 3 3
25 37.2000 2.41504 100 1.36000 82 5653
26 37.9800 2.36722 80 0.00000 66 0
27 38.5800 2.33177 73 0.00000 60 0

```

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

```

*** Basic Data Process ***

Group : Standard
Data : KATJ#MnO2#04gram

# Strongest 3 peaks
no. peak 2Theta d I/I1 FWHM Intensity Integrated Int
no. (deg) (A) (deg) (Counts) (Counts)
1 25 37.0600 2.42384 100 1.44800 117 7277
2 11 23.4800 3.78580 85 0.00000 99 0
3 10 22.2600 3.99045 84 0.00000 98 0

# Peak Data List
peak 2Theta d I/I1 FWHM Intensity Integrated Int
no. (deg) (A) (deg) (Counts) (Counts)
1 12.2750 7.20480 15 0.41000 17 443
2 13.0400 6.78379 19 0.40000 22 538
3 13.9600 6.33872 24 0.48000 28 1206
4 14.6600 6.03759 19 0.00000 22 0
5 15.4400 5.73430 28 1.22400 33 1890
6 17.2400 5.13943 56 1.87200 66 7118
7 18.7800 4.72131 62 0.00000 73 0
8 19.8200 4.47586 62 0.00000 73 0
9 21.2800 4.17196 79 0.00000 93 0
10 22.2600 3.99045 84 0.00000 98 0
11 23.4800 3.78580 85 0.00000 99 0
12 24.7000 3.60150 62 0.00000 72 0
13 25.3000 3.51744 58 0.00000 68 0
14 25.4800 3.49299 65 2.09140 76 4432
15 27.4400 3.24778 37 0.88000 43 1850
16 28.2133 3.16050 36 0.53330 42 1103
17 29.3775 3.03784 28 0.55500 33 1106
18 30.3600 2.94173 17 0.48000 20 700
19 30.9400 2.88790 11 0.00000 13 0
20 31.9100 2.80229 14 0.27340 16 372
21 33.6173 2.66377 32 1.17870 38 2311
22 34.9800 2.56306 23 0.32000 27 475
23 35.2000 2.54754 14 0.00000 16 0
24 36.1600 2.48208 45 0.84000 53 2394
25 37.0600 2.42384 100 1.44800 117 7277
26 38.1600 2.35646 57 0.00000 67 0
27 38.9000 2.31332 50 0.00000 59 0

```

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

```

*** Basic Data Process ***

: Standard
: KASP#MnO2#06gram

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

: Data List
peak 2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated
no.  (deg)      (A)      (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   32.0200    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

```

### 3. Pengaruh Konsentrasi KMnO<sub>4</sub> terhadap Proses Deposisi MnO<sub>2</sub>

#### a. KATJ/MnO<sub>2</sub> (KMnO<sub>4</sub> 0,025 M)

```

*** Basic Data Process ***

Group : Standard
Data  : 00245M#KATJ

# Strongest 3 peaks
peak 2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.  (deg)      (A)      (deg)      (Counts)  (Counts)
1    26   36.6000    2.45324  100    1.18400    116      6722
2    27   37.4200    2.40135  76     0.00000    88       0
3    2   12.0200    7.35707  66     1.84000    77      5723

# Peak Data List
peak 2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.  (deg)      (A)      (deg)      (Counts)  (Counts)
1    10.4200    8.48288  7      0.12000    8        121
2    12.0200    7.35707  66     1.84000    77      5723
3    13.2400    6.68177  45     0.74660    52      1563
4    14.1600    6.24964  22     0.78000    26      1034
5    15.9000    5.56942  3      0.08000    4        24
6    17.0250    5.20384  3      0.03000    3        12
7    18.5933    4.76830  24     0.69330    28      1119
8    19.7150    4.49946  24     0.87000    28      1020
9    20.4600    4.33727  24     0.59000    28      735
10   21.3800    4.15267  37     1.00000    43     2070
11   21.8800    4.05889  47     0.00000    55       0
12   22.7000    3.91409  62     0.00000    72       0
13   23.3400    3.80819  66     0.00000    77       0
14   23.6800    3.75428  60     0.00000    70       0
15   24.2800    3.66284  64     0.00000    74       0
16   25.2600    3.52291  60     1.32000    70     5723
17   26.6800    3.33855  34     0.46000    39     962
18   27.2400    3.27117  14     0.68000    16     571
19   28.8066    3.09674  18     0.81330    21     881
20   30.4700    2.93136  7      0.10000    8       55
21   31.4750    2.84002  5      0.13000    6       42
22   33.1125    2.70322  20     0.41500    23     561
23   33.8100    2.64903  8      0.11340    9       93
24   34.5475    2.59415  12     0.16500    14     190
25   35.6200    2.51846  39     0.62000    45     1622
26   36.6000    2.45324  100    1.18400    116     6722
27   37.4200    2.40135  76     0.00000    88       0
28   38.3600    2.34464  66     0.00000    76       0

```

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

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

Group : Standard  
Data : KATJ#MnO2#04gram

# Strongest 3 peaks							
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	25	37.0600	2.42384	100	1.44800	117	7277
2	11	23.4800	3.78580	85	0.00000	99	0
3	10	22.2600	3.99045	84	0.00000	98	0

# Peak Data List							
peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	12.2750	7.20480	15	0.41000	17	443	
2	13.0400	6.78379	19	0.40000	22	538	
3	13.9600	6.33872	24	0.48000	28	1206	
4	14.6600	6.03759	19	0.00000	22	0	
5	15.4400	5.73430	28	1.22400	33	1890	
6	17.2400	5.13943	56	1.87200	66	7118	
7	18.7800	4.72131	62	0.00000	73	0	
8	19.8200	4.47586	62	0.00000	73	0	
9	21.2800	4.17196	79	0.00000	93	0	
10	22.2600	3.99045	84	0.00000	98	0	
11	23.4800	3.78580	85	0.00000	99	0	
12	24.7000	3.60150	62	0.00000	72	0	
13	25.3000	3.51744	58	0.00000	68	0	
14	25.4800	3.49299	65	2.09140	76	4432	
15	27.4400	3.24778	37	0.88000	43	1850	
16	28.2133	3.16050	36	0.53330	42	1103	
17	29.3775	3.03784	28	0.55500	33	1106	
18	30.3600	2.94173	17	0.48000	20	700	
19	30.9400	2.88790	11	0.00000	13	0	
20	31.9100	2.80229	14	0.27340	16	372	
21	33.6173	2.66377	32	1.17870	38	2311	
22	34.9800	2.56306	23	0.32000	27	475	
23	35.2000	2.54754	14	0.00000	16	0	
24	36.1600	2.48208	45	0.84000	53	2394	
25	37.0600	2.42384	100	1.44800	117	7277	
26	38.1600	2.35646	57	0.00000	67	0	
27	38.9000	2.31332	50	0.00000	59	0	

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

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

Group : Standard  
Data : 01M#KATJ

# Strongest 3 peaks							
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	57	67.3200	1.38977	100	0.00000	51	0
2	59	68.9600	1.36067	88	0.70000	45	2631
3	58	68.3000	1.37220	84	0.60000	43	2474

# Peak Data List							
peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	10.5950	8.34316	14	0.15000	7	86	
2	11.4800	7.70189	22	0.84000	11	476	
3	12.4800	7.08691	53	0.96000	27	1589	
4	13.3400	6.63190	57	0.00000	29	0	
5	14.1800	6.24087	47	0.00000	24	0	
6	15.1800	5.83192	41	0.28000	21	999	
7	16.3400	5.42042	6	0.04000	3	32	
8	16.6500	5.32019	10	0.06000	5	45	
9	17.9700	4.93226	22	0.30000	11	159	
10	19.5250	4.54281	22	0.27000	11	223	
11	20.4450	4.34042	12	0.33000	6	145	
12	21.7400	4.08471	33	0.76000	17	618	
13	22.7050	3.91324	39	0.57000	20	591	
14	23.8033	3.73511	45	1.03330	23	1017	
15	24.8400	3.58152	47	0.74660	24	712	
16	25.4800	3.49299	51	0.72000	26	722	
17	26.4550	3.36643	35	0.71000	18	609	
18	27.7450	3.21277	22	0.31000	11	372	
19	29.4966	3.02585	22	0.23330	11	317	
20	30.1766	2.95919	10	0.03330	5	17	
21	32.1900	2.77855	16	0.10000	8	96	
22	33.8066	2.64929	27	0.41330	14	402	
23	34.9391	2.56597	22	0.34830	11	238	
24	36.0200	2.49140	39	0.28000	20	454	
25	37.2800	2.41004	73	1.26000	37	2054	
26	38.2000	2.35409	61	1.12000	31	1890	

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

##### a. KATJ/MnO<sub>2</sub> (65 °C)

```

*** Basic Data Process ***

Group      : Standard
Data       : KATJ#mnO2#65C

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (A)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
1  24      36.8200     2.43909 100    1.21600    96      3516
2  14      24.1200     3.68678  89     0.00000    85       0
3  13      23.2000     3.83085  86     0.00000    83       0

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (A)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
1  11.4800     7.70189  44     1.00000    42      2702
2  12.3800     7.14393  51     0.00000    49       0
3  12.9600     6.82549  36     0.00000    35       0
4  13.2800     6.66173  40     0.99000    38     1338
5  14.4300     6.13331  22     0.70000    21     665
6  15.7800     5.61150  20     0.40000    19     522
7  16.7533     5.28762  17     0.24670    16     327
8  17.6600     5.01813  21     0.32000    20     524
9  18.8550     4.70270  26     0.71000    25    1139
10 19.9800     4.44038  53     0.80000    51    3267
11 21.0600     4.21504  56     0.00000    54       0
12 22.0400     4.02979  74     0.00000    71       0
13 23.2000     3.83085  86     0.00000    83       0
14 24.1200     3.68678  89     0.00000    85       0
15 25.2600     3.52291  75     0.00000    72       0
16 26.9600     3.30451  57     1.25340    55    6699
17 28.1400     3.16856  29     0.18000    28     442
18 29.0480     3.07155  17     0.25600    16     315
19 30.3400     2.94363  27     0.24000    26     565
20 31.2383     2.86100  10     0.09670    10      60
21 32.0300     2.79206   6     0.12000    6      40
22 33.2900     2.68921  26     0.78000    25    1064
23 35.9000     2.49946  35     0.33340    34     747
24 36.8200     2.43909 100     1.21600    96    3516
25 37.4000     2.40259  78     1.36000    75    4372
26 38.5800     2.33177  57     0.00000    55       0

```

##### b. KATJ/MnO<sub>2</sub> (80 °C)

```

*** Basic Data Process ***

Group      : Standard
Data       : KATJ#Mno2#80oC

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (A)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
1  23      37.5800     2.39149 100    0.00000    105       0
2  22      36.9600     2.43017  99     1.60000    104     7838
3  2       12.5400     7.05313  68     2.59000    71     5354

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (A)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
1  11.4200     7.74222  52     1.12000    55     2263
2  12.5400     7.05313  68     2.59000    71     5354
3  14.1400     6.25844  45     1.00000    47     2110
4  15.2200     5.81668  15     0.39000    16     398
5  16.5166     5.36286  20     0.88670    21     992
6  18.4000     4.81795  22     0.40000    23     554
7  19.2700     4.60235  21     0.66000    22     646
8  20.1000     4.41414  28     0.81340    29     950
9  21.0400     4.21900  49     1.26660    51    2429
10 21.6600     4.09962  35     0.00000    37       0
11 22.6000     3.93118  50     0.79000    53    3401
12 23.2200     3.82760  64     0.00000    67       0
13 24.2600     3.66582  62     0.00000    65       0
14 26.0200     3.42171  49     1.04000    51    6301
15 27.4250     3.24952  33     0.75000    35    1260
16 28.4300     3.13690  24     0.86000    25    1086
17 29.9240     2.98360   8     0.07200    8      39
18 30.7300     2.90715  12     0.22000    13     246
19 33.1100     2.70342  27     0.54000    28    1097
20 33.7800     2.65131   8     0.24000    8      306
21 34.5200     2.59615  12     0.16000    13     189
22 36.9600     2.43017  99     1.60000    104    7838
23 37.5800     2.39149 100     0.00000    105       0
24 38.4800     2.33760  59     0.00000    62       0

```

c. KATJ/MnO<sub>2</sub> (95 °C)

```

*** Basic Data Process ***

Group      : Standard
Data      : KATJ#MnO2#95oC

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
          (deg)      (A)          (deg)  (Counts)  (Counts)
  1  68    64.4384    1.44478  100  0.57910    112    3090
  2  44    44.0533    2.05393   71  0.57330     79    2139
  3  35    37.7633    2.38030   64  0.71330     72    2608

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (A)          (deg)  (Counts)  (Counts)
  1    10.9200    8.09557     6  0.26660     7     118
  2    11.4200    7.74222    19  0.44000    21     402
  3    11.9550    7.39692    27  0.73000    30     846
  4    12.7600    6.93202    23  1.00000    26    1458
  5    13.8600    6.38423    18  0.00000    20     0
  6    14.2800    6.19739    26  0.00000    29     0
  7    15.2400    5.80910    26  0.00000    29     0
  8    16.4000    5.40073    32  0.00000    36     0
  9    16.8400    5.26059    35  0.00000    39     0
 10    17.4600    5.07516    43  0.00000    48     0
 11    18.4200    4.81277    42  0.00000    47     0
 12    19.0200    4.66228    46  0.00000    51     0
 13    20.0000    4.43598    47  0.00000    53     0
 14    21.0600    4.21504    57  0.00000    64     0
 15    21.4000    4.14883    51  0.00000    57     0
 16    21.8800    4.05889    44  0.00000    49     0
 17    22.3800    3.96933    50  0.00000    56     0
 18    22.7600    3.90391    47  0.00000    53     0
 19    23.3200    3.81141    52  0.00000    58     0
 20    23.8000    3.73562    57  0.00000    64     0
 21    24.5400    3.62462    45  0.00000    50     0
 22    26.0000    3.42430    36  0.00000    40     0
 23    26.4200    3.37081    27  0.66660    30    1363
 24    27.3600    3.25710    18  0.20000    20     487
 25    27.8000    3.20654     7  0.00000     8     0
 26    28.6083    3.11775    16  0.71670    18     836
 27    30.1000    2.96655     3  0.04000     3     27
 28    31.4050    2.84619    16  0.33000    18     448
 29    32.2700    2.77185     7  0.10000     8     95
 30    32.8533    2.72395    13  0.26670    14     275
 31    33.2200    2.69472     8  0.08000     9     54
 32    33.9666    2.63717    21  0.57330    24     731
 33    35.1800    2.54894    18  0.60000    20     709
 34    36.4100    2.46561    57  1.34000    64    3762
 35    37.7633    2.38030    64  0.71330    72    2608
 36    38.9000    2.31332    20  0.40000    22     470

```

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

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

```

*** Basic Data Process ***

Group      : Standard
Data       : katj#mno2#asam

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
          (deg)      (A)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
  1    72    64.4060    1.44543  100  0.56000    131    3561
  2    48    44.0339    2.05479   72  0.55500     94    2419
  3     3    11.9000    7.43099   44  0.00000     57     0

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1  FWHM      Intensity  Integrated Int
no.      (deg)      (A)      I/I1  (deg)      (Counts)  (Counts)
  1    10.6800    8.27695   21  0.34000     28     381
  2    11.3400    7.79666   33  1.20000     43    2252
  3    11.9000    7.43099   44  0.00000     57     0
  4    12.5600    7.04195   36  0.00000     47     0
  5    13.3200    6.64181   35  0.00000     46     0
  6    14.0200    6.31173   27  0.80000     36    1827
  7    15.0250    5.89173   24  0.81000     32    1234
  8    15.6200    5.66862   16  0.00000     21     0
  9    16.1000    5.50068   18  0.00000     24     0
 10    16.5000    5.36822   15  0.50000     20     840
 11    17.3000    5.12174   10  0.00000     13     0
 12    17.4400    5.08094   11  0.00000     15     0
 13    17.9600    4.93498   19  0.76000     25    1506
 14    18.9000    4.69161   21  0.00000     28     0
 15    19.5400    4.53936   22  0.00000     29     0
 16    20.8200    4.26308   28  1.30000     37    2537
 17    21.3800    4.15267   26  0.00000     34     0
 18    21.8000    4.07360   30  0.00000     39     0
 19    22.2400    3.99400   25  0.00000     33     0
 20    22.7000    3.91409   28  0.00000     37     0
 21    23.6200    3.76368   26  0.00000     34     0
 22    24.5800    3.61881   24  0.00000     31     0
 23    25.0800    3.54779   20  0.00000     26     0
 24    25.5800    3.47956   18  0.00000     23     0
 25    25.9000    3.43729   15  0.00000     20     0
 26    26.5400    3.35584   15  0.75200     20     947
 27    27.3650    3.25651    5  0.07000      6     44
 28    27.8300    3.20315    4  0.06000      5     30
 29    29.5226    3.02324    6  0.06130      8     39
 30    30.2800    2.94932    7  0.12000      9    123
 31    31.5825    2.83060    8  0.08500     10     96
 32    32.5733    2.74673    4  0.05330      5     36
 33    32.9800    2.71378    9  0.12000     12     95
 34    33.3600    2.68373   11  0.52000     14    219
 35    33.5200    2.67128   11  0.12000     15     69
 36    33.8800    2.64372   10  0.48000     13    395
 37    34.9566    2.56472    8  0.11330     11    116
 38    35.3200    2.53916    5  0.08000      6     70
 39    36.7920    2.44088   37  0.86400     48    2087
 40    37.7241    2.38269   31  0.74170     41    1406
 41    38.5183    2.33536    9  0.25670     12     181

```

## b. KATJ/MnO<sub>2</sub> (Basa)

```

*** Basic Data Process ***
Group      : Standard
Data       : katj#mno2#basa

# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated
no.        (deg)      (A)    (deg)    (Counts)  (Counts)
  1  14    24.9200    3.57020  100  0.00000    93      0
  2  13    24.2400    3.66880   91  0.00000    85      0
  3  24    36.8400    2.43781   91  0.00000    85      0

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated
no.        (deg)      (A)    (deg)    (Counts)  (Counts)
  1    11.3800    7.76934   34  0.91000    32     1102
  2    11.9600    7.39384   55  1.31000    51     3022
  3    13.3800    6.61217   13  0.00000    12      0
  4    14.9400    5.92506    6  0.08000    6      63
  5    16.5550    5.35051   14  0.17000    13     293
  6    17.8000    4.97898   24  0.69340    22     721
  7    18.6200    4.76152   34  1.16000    32    1435
  8    20.0800    4.41849   51  1.50000    47    3448
  9    21.0800    4.21109   58  0.00000    54      0
 10    22.7800    3.90052   78  0.00000    73      0
 11    23.6600    3.75740   84  0.00000    78      0
 12    23.9200    3.71715   89  0.00000    83      0
 13    24.2400    3.66880   91  0.00000    85      0
 14    24.9200    3.57020  100  0.00000    93      0
 15    26.2800    3.38845   75  1.05600    70    6431
 16    27.3250    3.26119   45  0.69000    42    1232
 17    28.1840    3.16371   22  0.59200    20     809
 18    29.3543    3.04019   14  0.07530    13      93
 19    31.1250    2.87115    9  0.13000    8      66
 20    32.0166    2.79320   11  0.11330   10      91
 21    33.3050    2.68803   17  0.35000   16     504
 22    34.9000    2.56875   37  0.61000   34    1183
 23    36.3400    2.47020   80  1.34660   74    4365
 24    36.8400    2.43781   91  0.00000   85      0
 25    37.5200    2.39518   65  0.00000   60      0
 26    38.6000    2.33061   38  0.92000   35    3251

```

## c. KATJ/MnO<sub>2</sub> (Netral)

```

*** Basic Data Process ***
Group      : Standard
Data       : KATJ#MnO2#95oC

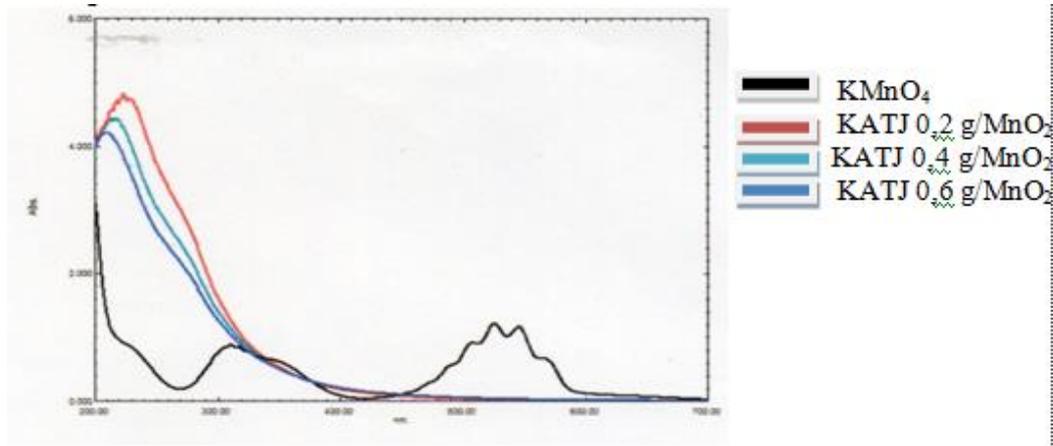
# Strongest 3 peaks
no. peak  2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
no.        (deg)      (A)    (deg)    (Counts)  (Counts)
  1  68    64.4384    1.44478  100  0.57910   112    3090
  2  44    44.0533    2.05393   71  0.57330   79    2139
  3  35    37.7633    2.38030   64  0.71330   72    2608

# Peak Data List
peak      2Theta      d      I/I1    FWHM      Intensity  Integrated Int
no.        (deg)      (A)    (deg)    (Counts)  (Counts)
  1    10.9200    8.09557    6  0.26660    7      118
  2    11.4200    7.74222   19  0.44000   21     402
  3    11.9550    7.39692   27  0.73000   30     846
  4    12.7600    6.93202   23  1.00000   26    1458
  5    13.8600    6.38423   18  0.00000   20      0
  6    14.2800    6.19739   26  0.00000   29      0
  7    15.2400    5.80910   26  0.00000   29      0
  8    16.4000    5.40073   32  0.00000   36      0
  9    16.8400    5.26059   35  0.00000   39      0
 10    17.4600    5.07516   43  0.00000   48      0
 11    18.4200    4.81277   42  0.00000   47      0
 12    19.0200    4.66228   46  0.00000   51      0
 13    20.0000    4.43598   47  0.00000   53      0
 14    21.0600    4.21504   57  0.00000   64      0
 15    21.4000    4.14883   51  0.00000   57      0
 16    21.8800    4.05889   44  0.00000   49      0
 17    22.3800    3.96933   50  0.00000   56      0
 18    22.7600    3.90391   47  0.00000   53      0
 19    23.3200    3.81141   52  0.00000   58      0
 20    23.8000    3.73562   57  0.00000   64      0
 21    24.5400    3.62462   45  0.00000   50      0
 22    26.0000    3.42430   36  0.00000   40      0
 23    26.4200    3.37081   27  0.66660   30    1363
 24    27.3600    3.25710   18  0.20000   20     487
 25    27.8000    3.20654    7  0.00000    8      0
 26    28.6083    3.11775   16  0.71670   18     836
 27    30.1000    2.96655    3  0.04000    3      27
 28    31.4050    2.84619   16  0.33000   18     448
 29    32.2700    2.77185    7  0.10000    8      95
 30    32.8533    2.72395   13  0.26670   14     275
 31    33.2200    2.69472    8  0.08000    9      54
 32    33.9666    2.63717   21  0.57330   24     731
 33    35.1800    2.54894   18  0.60000   20     709
 34    36.4100    2.46561   57  1.34000   64    3762
 35    37.7633    2.38030   64  0.71330   72    2608
 36    38.9000    2.31332   20  0.40000   22     470

```

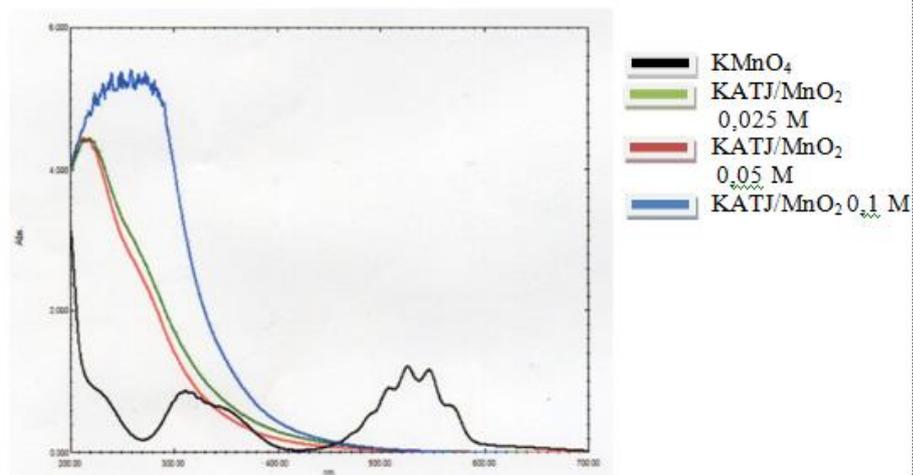
## Lampiran 7. Data Hasil Karakterisasi UV-Vis

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



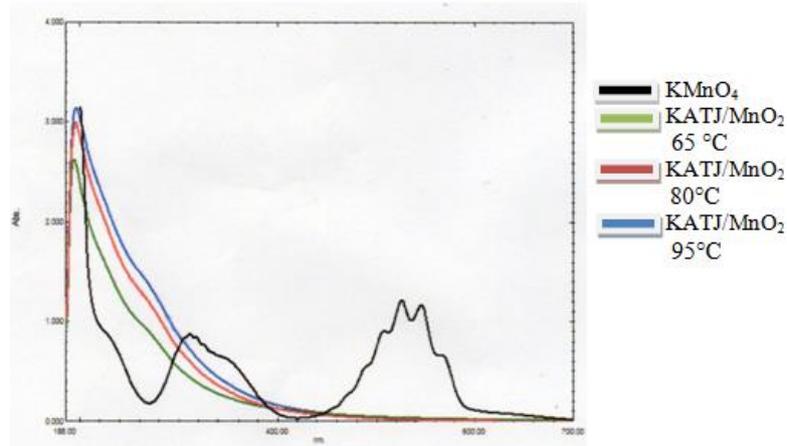
Sampel	Panjang gelombang (nm)	Absorbansi
KMnO <sub>4</sub> 0,05 M	545,5; 525,5; 507,5; 317; 310	1,168; 1,213; 0,911; 0,844; 0,877
KATJ 0,2 g + KMnO <sub>4</sub>	230,00	4,800
KASP 0,4 g + KMnO <sub>4</sub>	220,00	4,400
KASP 0,6 g + KMnO <sub>4</sub>	220,00	4,200

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



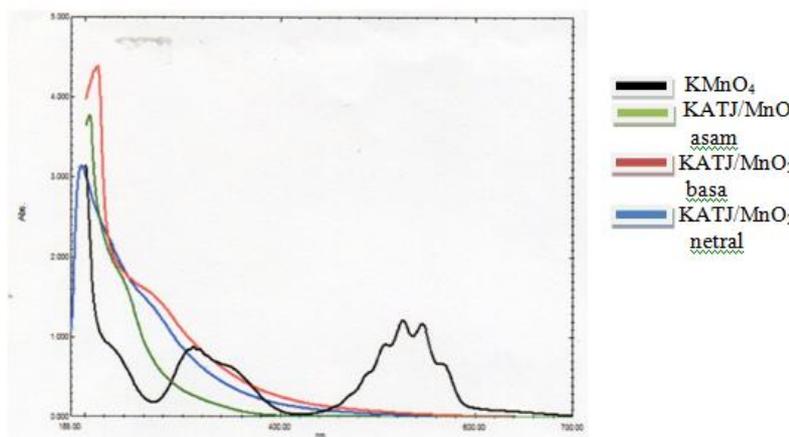
Sampel	Panjang gelombang (nm)	Absorbansi
KATJ + KMnO <sub>4</sub> 0,025 M	220,00	4,400
KATJ + KMnO <sub>4</sub> 0,05 M	210,00	4,400
KATJ + KMnO <sub>4</sub> 0,1 M	270,00	5,200

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



Sampel	Panjang gelombang (nm)	Absorbansi
KATJ + KMnO <sub>4</sub> (65 °C)	204,545	2,600
KATJ + KMnO <sub>4</sub> (80 °C)	204,545	3,000
KATJ + KMnO <sub>4</sub> (95 °C)	204,545	3,100

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



Sampel	Panjang gelombang (nm)	Absorbansi
KASP + KMnO <sub>4</sub> (Netral)	194,7725	3,100
KASP + KMnO <sub>4</sub> (Asam)	204,545	3,800
KASP + KMnO <sub>4</sub> (Basa)	224,09	4,400