

## Pemurnian Mangan Oksida dengan Metode Pengendapan Selektif Menggunakan Karbon

Ihsan Alamsah\*, Dwi Puryanti \*\*

Laboratorium Material, Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas

Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163 Indonesia

\*ihsanalamsah@gmail.com, \*\*dwipuryanti@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian pemurnian mangan oksida dari bijih mangan Nagari Aie Ramo, Kecamatan Kamang, Kabupaten Sijunjung dilakukan dengan menggunakan metode pengendapan selektif dan adsorpsi. Bijih mangan diekstraksi dengan asam sulfat kemudian direduksi dengan asam oksalat dalam suasana asam dan diendapkan dalam larutan NaOH menggunakan media adsorpsi karbon. Karbon yang digunakan berasal dari cangkang kelapa sawit (CKS), cangkang biji karet (CBK), cangkang buah ketaping (CKP), dan tandan kosong kelapa sawit (TKS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon cangkang kelapa sawit merupakan karbon yang paling tinggi persentase adsorpsinya yaitu 94,225 % dibandingkan dengan sumber karbon lainnya. Analisis *Atomic Adsorption Spectroscopy* (AAS) menunjukkan kadar mangan meningkat setelah proses pemurnian yaitu dari 13,6123 ppm hingga 21,8867 ppm untuk karbon cangkang kelapa sawit. Kadar mangan meningkat setelah proses pengendapan selektif dan adsorpsi. Kadar pengotor yang terkandung dalam bijih mangan seperti Fe, Al, Si, K, Ba, P, Mg, Ca dan Ti dianalisis menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Proses pengendapan selektif dapat menghilangkan pengotor Fe sekitar 98%. Proses pemurnian dengan metode adsorpsi dapat menghilangkan pengotor sebanyak 98 % Fe. Hasil karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraksi* (XRD) untuk MnO<sub>2</sub> murni menunjukkan bahwa sistem kristal yang dihasilkan adalah tetragonal dengan puncak tertinggi pada sudut  $2\theta = 25,3591^\circ$  dengan indeks miller (111) dan ukuran kristal MnO<sub>2</sub> diperoleh sebesar 53,08 nm.

Kata Kunci : Bijih Mangan, Mangan Oksida, Pengendapan Selektif, Adsorpsi, Karbon

### ABSTRACT

*Research on purification of manganese oxide from manganese ore of Nagari Aie Ramo, Kamang District, Sijunjung Regency was carried out using a selective precipitation method and adsorption. Manganese ore extracted with sulfuric acid were then reduced with oxalic acid in an acidic and in precipitated NaOH solution using carbon adsorption media. The carbon used comes from oil palm shells, rubber seed shells, ketaping fruit shells, and oil palm empty fruit bunches. The results showed that oil palm shell carbon was the highest percentage of carbon adsorption which was 94.255 % compared to other carbon sources. The Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS) analysis showed that the levels of manganese increased after the refining process, from 13.6132 ppm to 21.8867 ppm for oil palm shell carbon. Manganese levels increase after the selective precipitation process and adsorption. The impurity content contained in manganese ore such as Fe, Al, Si, K, Ba, P, Mg, Ca and Ti was analyzed using X-Ray Fluorescence (XRF). The selective deposition process can remove Fe impurities around 98%. The purification process using the adsorption method can remove impurities as much as 98% Fe. The results of the characterization using Diffraction X-Ray (XRD) for pure MnO<sub>2</sub> showed that the resulting crystal system was tetragonal with the highest peak at an angle of  $2\theta = 25.3591^\circ$  with miller index (111) and MnO<sub>2</sub> crystal size obtained at 53.08 nm.*

*Keywords: Manganese Ore, Manganese Oxide, Selective Precipitation, Adsorption, Carbon*

## I. PENDAHULUAN

Mangan merupakan logam keempat setelah besi, aluminium dan tembaga yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari (Sumardi dkk., 2013). Hampir 90% mangan yang ada di dunia ini dipergunakan untuk industri besi dan baja. Mangan digunakan dalam produksi *mild steel*, *high carbon ferromanganese* dan *silicomanganese* (Yucel dan Emin, 2001). Selain untuk kepentingan metalurgi, mangan juga digunakan untuk produksi senyawa kimia seperti KMnO<sub>4</sub> yang digunakan untuk desinfektan, MnSO<sub>4</sub> untuk pakan ternak dan *manganese dioxide* yang digunakan sebagai komponen baterai kering yang berfungsi untuk depolarisator (Sumardi dkk., 2007; Herianto, 2011; Zhang dan Cheng, 2007).

Mangan dijumpai dalam bentuk bijih mangan yang berwujud batuan (Panjaitan, 2011). Indonesia memiliki sumber bijih mangan yang cadangannya cukup besar. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2015, potensi bijih mangan di

Indonesia mencapai 15.557.048 ton. Bijih mangan tersebut tersebar di daerah seperti Nusa Tenggara Timur, Yogyakarta, dan Sumatera Barat. Bijih mangan mengandung berbagai jenis mineral, salah satunya adalah pirolusit ( $\text{MnO}_2$ ). Pirolusit lebih bernilai ekonomis dibandingkan dengan mineral lainnya seperti braunit, coesit, hausmanit dan lain-lain (Royani dkk., 2017). Untuk mengoptimalkan pemanfaatan mineral mangan perlu dilakukan proses pengelolaan dan pemurnian bijih mangan tersebut. Terkait dengan kegiatan peningkatan nilai tambah mineral melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian, pemerintah telah menetapkan batasan minimum produk pengolahan dan/atau pemurnian untuk mineral-mineral yang boleh diekspor dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 25 Tahun 2018. Mineral bijih mangan yang diperbolehkan untuk diekspor yaitu batasan minimum pengolahan dengan kualitas  $\text{Mn} \geq 49\%$  dan pemurnian dengan kualitas  $\text{MnO}_2 \geq 98\%$ . Peningkatan nilai tambah mineral di dalam negeri ini merupakan tantangan sekaligus peluang untuk membangun kemandirian dan daya saing bangsa.

Senyawa mangan dioksida ( $\text{MnO}_2$ ) merupakan senyawa yang stabil baik dalam kondisi asam ataupun basa, sehingga untuk mengolah bijih mangan harus dilakukan dengan proses reduksi terlebih dahulu menggunakan reduktor (Royani dkk., 2017). Salah satu parameter dalam pemurnian mangan oksida yang perlu dipertimbangkan adalah pengotor pengganggu yang terdapat dalam bijih mangan seperti Fe, Al, Si dan logam lainnya.

Pada penelitian yang dilaporkan Andriyah dan Sulistiyono (2018) bahwa penyerapan menggunakan karbon dari biomassa (arang kayu) mampu menyerap Fe sebesar 74,8% dan 23,30% Mn pada bijih mangan. Andriyah dan Sulistiyono (2018) tidak melaporkan sumber dari biomassa dari arang kayu. Perbedaan biomassa akan menghasilkan kandungan karbon yang berbeda pula. Semakin banyak kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin maka semakin banyak karbon yang dihasilkan (Garcia, 2017). Material karbon mudah didapat, melimpah, terbaharukan, dan berkontribusi terhadap pengurangan limbah pertanian, jika dibandingkan dengan agen penyerap lainnya seperti clay, zeolite, silika gel (Frackowiak dkk., 2013). Sebagian besar karbon komersil yang dibuat dari bahan bakar fosil dari minyak bumi dan batu bara membuatnya sangat mahal dan tidak ramah lingkungan sehingga penelitian beralih pada sumber karbon dari biomassa limbah pertanian yang lebih murah, mudah didapat dan ramah lingkungan (Abioye dan Ani, 2015). Berbagai penelitian telah banyak dilakukan dalam penggunaan sumber karbon dari biomassa limbah pertanian sebagai adsorben seperti, limbah cangkang biji kemiri, limbah bubuk kopi, ampas minyak lobak, cangkang kelapa sawit, cangkang pinang, tandan kosong kelapa sawit, sekam padi dan cangkang biji karet (Garcia, 2017).

Penelitian Mustofa dkk. (2018) tentang analisis struktur mangan dari Nagari Aie Ramo, Kecamatan Kamang, Kabupaten Sijunjung melaporkan bahwa struktur bijih mangan yang didapat pirolusit, psilomelan coesit dan braunit sebelum disintering, namun pirolusit ( $\text{MnO}_2$ ) hilang setelah dilakukan proses sintering. Mustofa dkk. (2018) juga melaporkan bahwa di dalam bijih mangan yang belum dilakukan proses sintering terkandung 13 % Fe; 2,6% Al; dan 2,1% Si. Bijih mangan yang didapat dari hasil yang dilaporkan Mustofa dkk. (2018) tersebut perlu dilakukan pemurnian untuk meningkatkan nilai tambahnya. Penghilangan pengotor tersebut dapat dilakukan dengan metode pengendapan selektif menggunakan karbon sebagai adsorben.

Penelitian yang dilakukan ini adalah pemurnian mangan oksida dari bijih mangan Nagari Aie Ramo, Kecamatan Kamang, Kabupaten Sijunjung. Bijih mangan direduksi dengan asam oksalat dalam suasana asam. Metode yang digunakan adalah metode pengendapan selektif yang diendapkan dalam larutan basa. Pengendapan dilakukan menggunakan media adsorpsi karbon dari beberapa biomassa cangkang kelapa sawit, cangkang buah ketaping, cangkang biji karet dan tandan kosong kelapa sawit. Biomassa tersebut dipilih karena kandungan karbon yang terkandung didalamnya tinggi. Kandungan karbon yang tinggi berdistribusi terhadap daya serap yang tinggi. Kandungan karbon dari keempat sumber karbon tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Tabel kandungan lignoselulosa karbon  
(Sumber: Garcia, 2017)

No	Sumber karbon	Kandungan Lignoselulosa (%)				
		C	H	O	N	Lain-lain
1	Cangkang Kelapa Sawit (CKS)	72,66	4,18	20,14	0,12	2,9
2	Cangkang Biji Karet (CBK)	43,21	10,71	42,16	0,5	3,42
3	Cangkang Buah Ketaping (CKP)	49,5	5,95	41,7	0,3	2,55
4	Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKS)	57,89	7,33	30,18	0	4,6

## II. METODE

### 2.1 Pembuatan Mangan Oksida dari Bijih Mangan

Sebanyak 10g bijih mangan dilarutkan kedalam 100 mL larutan asam sulfat 6 % dan ditambahkan 3 g/100 mL asam oksalat sebagai agen pereduksi. Campuran dipanaskan pada suhu 80°C dan diaduk menggunakan stirrer dengan kecepatan 200 rpm selama 6 jam. Campuran kemudian disaring menggunakan kertas wattman. Endapan yang terbentuk dibuang dan filtrat yang dihasilkan ditambahkan dengan NaOH 1 M hingga pH mencapai 6. Campuran filtrat dan NaOH dipanaskan pada suhu 70°C selama 2,5 jam dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Endapan yang terbentuk dibuang. Filtrat dianalisis dengan AAS sebelum dan sesudah penambahan NaOH.

### 2.2 Pembuatan Karbon

Bahan-bahan CKS, CBK, CKP, TKS dipotong kecil-kecil, dicuci, dan kemudian dikering anginkan. Bahan tersebut kemudian dioven pada suhu 105°C dan dikarbonisasi menggunakan furnace pada suhu 400°C selama 4 jam. Karbon yang terbentuk digerus sampai halus dan diayak dengan ayakan 400 mesh.

### 2.3 Proses Pemurnian Mangan Oksidadengan Metode Pengendapan Selektif Menggunakan Karbonsebagai Adsorban

Larutan mangan sulfat diambil sebanyak 100 mL dan dicampurkan dengan 5 g karbon (Sumardi, dkk., 2013). Campuran kemudian diaduk selama 1 menit dan dilakukan proses adsorpsi selama 30 menit. Setelah dilakukan proses adsorpsi larutan disaring menggunakan kertas wattman. Filtrat dari hasil penyaringandisiapkan untuk proses kristalisasi.

### 2.4 Proses KristalisasiMnO<sub>2</sub>

Filtrat yang dihasilkan dalam proses pengendapan kemudian dilakukan kristalisasi dengan memanaskan filtrat pada 90°C hingga jenuh selama 12 jam.

### 2.5 Karakterisasi Sampel

Kristal yang terbentuk dari proses kristalisasi dianalisa menggunakan XRD untuk melihat struktur kristal dan parameter kisi sampel dari MnO<sub>2</sub> yang terbentuk dan XRF melihat persentase komposisi MnO<sub>2</sub> setelah dan sebelum proses adsorpsi.

## III. HASIL DAN DISKUSI

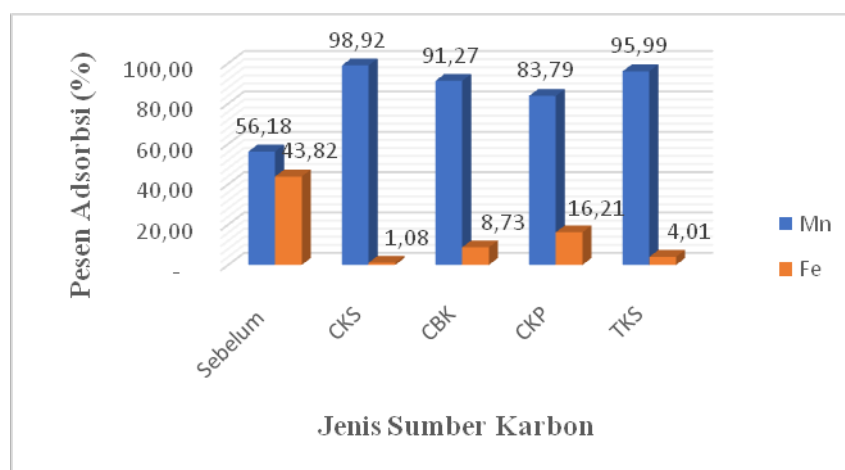
### 3.1 Pengaruh Jenis Karbon terhadap Konsentrasi Adsorpsi Mangan dan Besi

Konsentrasi mangan yang terdapat dalam bijih mangan ditentukan dengan analisis *Atomic Adsorbition Spectroscopy* (AAS). Tabel 2 menunjukkan hasil analisis menggunakan AAS dan Gambar 1 menunjukkan pengaruh jenis sumber karbon terhadap konsentrasi mangan yang dihasilkan.

**Tabel 2** Konsentrasi mangan dan besi sebelum dan setelah pemurnian dari berbagai sumber karbon.

No	Sumber Karbon	Konsentrasi Mn (ppm)	Konsentrasi Fe (ppm)
1	Sebelum Pemurnian	10,2350	7,9811
2	Setelah Pemurnian		
	a. Cangkang Kelapa Sawit	21,8867	0,2387
	b. Cangkang Biji Karet	17,3771	1,6615
	c. Cangkang buah ketaping	15,9323	3,0817
	d. Tandan kosong kelapa sawit	19,1668	0,8004

Tabel 2 memperlihatkan pengaruh jenis sumber karbon terhadap konsentrasi Mn yang dihasilkan. Konsentrasi Mn meningkat setelah dilakukan pemurnian atau proses adsorpsi untuk semua jenis karbon yang digunakan. Konsentrasi Mn tertinggi terdapat pada karbon dari cangkang kelapa sawit dan terendah dari cangkang buah ketaping. Konsentrasi mangan meningkat dari 10,235 ppm hingga 21,8867 ppm setelah dilakukan adsorpsi dengan cangkang kelapa sawit. Semua jenis biomassa yang digunakan pada penelitian ini lebih tinggi konsentrasi Mn yang dihasilkan dibandingkan yang dilaporkan oleh Andriyah dan Sulistiono (2018) yang menggunakan karbon dari arang kayu. Konsentrasi Mn yang dihasilkan menggunakan karbon dari arang kayu adalah sebesar 13,6132 ppm. Tabel 2 juga memperlihatkan pengaruh jenis sumber karbon terhadap konsentrasi Fe yang dihasilkan. Konsentrasi Fe menurun setelah dilakukan pemurnian atau proses adsorpsi untuk semua jenis karbon yang digunakan. Konsentrasi Fe terendah terdapat pada karbon dari cangkang kelapa sawit dan tertinggi adalah cangkang buah ketaping. Semua jenis biomassa yang digunakan pada penelitian ini konsentrasi Fe yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan yang dilaporkan oleh Andriyah dan Sulistiono (2018). Konsentrasi Fe yang dihasilkan menggunakan karbon dari arang kayu adalah sebesar 4,1123 ppm.

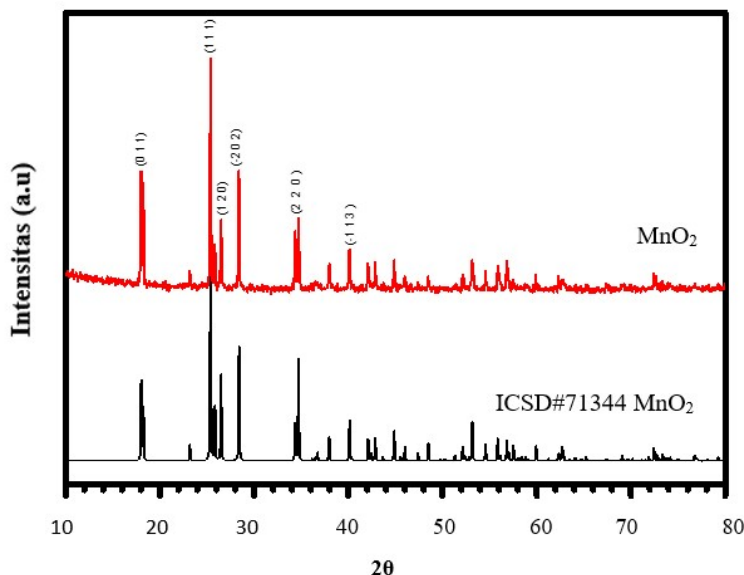


**Gambar 1** Grafik pengaruh jenis karbon terhadap persen adsorpsi Mn dan Fe

Penyerapan yang paling bagus untuk menghilangkan pengotor yang terkandung dalam bijih mangan adalah cangkang kelapa sawit (CKS). Cangkang kelapa sawit mampu menghilangkan pengotor Fe, Al, Si, K, Ba, P, Mg, Ca, Ti dan dapat mempertahankan Mn sebanyak mungkin untuk tidak ikut terserap. Cangkang kelapa sawit mampu menyerap Fe sebanyak 98,92 % sehingga Fe yang tersisa dalam sampel adalah 1,08% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Persen adsorpsi dari karbon tandan kosong kelapa sawit juga menunjukkan daya serap yang bagus yaitu mampu menyerap Fe sebanyak 95,99 % dengan meninggalkan Fe pada sampel sebanyak 4,01 %.

### 3.2 Struktur dan Ukuran Kristal $\text{MnO}_2$

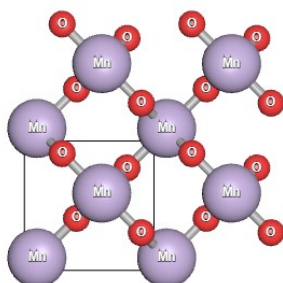
Gambar 2 menunjukkan pola difraksi dari mangan oksida murni setelah dilakukan proses pengendapan selektif dan adsorpsi menggunakan karbon dari cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit dipilih untuk karakterisasi XRD karena penyerapannya lebih bagus dibandingkan dengan karbon lainnya. Cangkang kelapa sawit mampu menghilangkan pengotor Fe, Al, Si, K, Ba, P, Mg, Ca, Ti dan mampu mempertahankan Mn sebanyak mungkin untuk tidak ikut terserap.



**Gambar 2** Pola XRD dari sampel mangan oksida murni setelah dilakukan pemurnian dengan karbon dari cangkang kelapa sawit

Gambar 2 memperlihatkan pola difraksi pada sampel yang telah dilakukan pencocokan pada data standar ICSD#71344 untuk fasa  $\text{MnO}_2$ . Puncak-puncak yang muncul pada difraktogram merupakan puncak-puncak dari  $\text{MnO}_2$  murni. Intensitas tertinggi yaitu pada sudut  $2\theta = 25,3591^\circ$  yang merupakan puncak  $\text{MnO}_2$ . Intensitas yang tinggi menunjukkan bahwa kristal tersebut memiliki keteraturan kristal yang baik atau semakin banyak atom-atom yang tersusun teratur dan rapi. Berdasarkan identifikasi dari pencocokan data diperoleh puncak-puncak difraksi pada sudut  $2\theta$  untuk fasa  $\text{MnO}_2$  adalah sebagai berikut  $18,1242^\circ$ ;  $25,3591^\circ$ ;  $26,4893^\circ$ ;  $34,7499^\circ$ ; dan  $40,1067^\circ$  yang berturut-turut sesuai dengan indeks miller (011), (111), (120), (-202), (220), dan (-113).

Analisis XRD menunjukkan bahwa sistem kristal untuk kristal mangan oksida ( $\text{MnO}_2$ ) adalah tetragonal dengan  $a=b \neq c$  dimana  $a=3,4893 \text{ \AA}$ ;  $b=3,4893 \text{ \AA}$ ; dan  $c=2,8730 \text{ \AA}$  serta  $\alpha=\beta=\gamma=90,000^\circ$  seperti yang terlihat pada Gambar 3.



**Gambar 3** Bentuk geometri kristal  $\text{MnO}_2$  yang dihasilkan

Pola difraksi yang terbentuk untuk intensitas maksimum yang mewakili  $\text{MnO}_2$  adalah pada sudut  $2\theta = 25,3591^\circ$  yang sesuai dengan indeks miller (111). Dari perhitungan dengan menggunakan Persamaan Scherrer diperoleh ukuran kristal  $\text{MnO}_2$  sebesar  $53,08 \text{ nm}$ .

### 3.3 Komposisi Sampel dalam Bijih Mangan

Hasil pengukuran *X-Ray Fluoresence* (XRF) menunjukkan peningkatan kadar mangan dan penurunan pengotor logam lain setelah dilakukan proses pemurnian bijih mangan menggunakan karbon dari cangkang kelapa sawit karena memiliki daya serap yang bagus terhadap pengotor dalam sampel bijih mangan. Tabel 3 menunjukkan komposisi logam yang terkandung didalam sampel bijih mangan sebelum pemurnian dan setelah pemurnian.

**Tabel 3** Komposisi bijih mangan sebelum dan setelah pemurnian dengan adsorpsi karbondari cangkang kelapa sawit menggunakan analisis XRF

Unsur			Senyawa		
Nama	Sebelum pemurnian (% berat)	Setelah pemurnian (% berat)	Nama	Sebelum pemurnian (% berat)	Setelah pemurnian (% berat)
Mn	79,7	94,225	MnO <sub>2</sub>	73,41	92,085
Fe	13,5	0,523	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,3	0,526
Al	2,62	1,826	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,61	2,861
Si	2,21	0,557	SiO <sub>2</sub>	4,16	0,987
K	1,3	1,014	K <sub>2</sub> O	0,45	0,315
Ba	0,36	0,025	BaO	0,67	0,022
P	0,15	1,491	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,22	2,816
Mg	0,1	0,3	MgO	1,02	0,012
Ca	0,08	0,041	CaO	0,14	0,381
Ti	0,02	0	TiO <sub>2</sub>	0,02	0

Analisis *X-Ray Fluoresence* yang diperlihatkan pada Tabel 3 menunjukkan beragam unsur yang terdapat dari mineral bijih mangan, yaitu mangan (Mn), besi (Fe), aluminium (Al), silika (Si), kalium (K), barium (Ba), pospor (P), magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan titanium (Ti). Hasil pengukuran XRF menunjukkan unsur mangan memiliki kadar yang tertinggi baik sebelum pemurnian maupun setelah pemurnian. Kadar mangan meningkat dari 79,7 % hingga 94,225% dimana persen peningkatan kadar mangan sebesar 18,22%. Hal ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan pemurnian, kadar mangan yang dihasilkan lebih murni dan kadar pengotor menurun. Data bentuk oksida dari hasil pengukuran *X-ray Fluoresensi* (XRF) juga menunjukkan bahwa MnO<sub>2</sub> yang dihasilkan memiliki kadar yang tinggi dibandingkan bentuk oksida lainnya. Mangan oksida yang dihasilkan meningkat setelah dilakukan proses pemurnian yaitu dari 73,41% hingga 92,085%.

Pengotor yang dihilangkan dalam proses pemurnian adalah logam Fe, Al, Si, K, Ba, P, Mg, Ca, dan Ti. Pengukuran menggunakan analisis XRF terlihat bahwa pengotor dengan kadar paling tinggi yang terdapat dalam bijih mangan adalah Fe. Sebelum dilakukan pemurnian kadar Fe yaitu 13,5% dan setelah dilakukan proses pemurnian dengan metode pengendapan selektif menggunakan karbon dari cangkang kelapa sawit kadar Fe yang dihasilkan menurun menjadi 0,523% . Persen penurunan kadar Fe dalam sampel bijih mangan sebesar 96,12%. Hal ini menunjukkan bahwa karbon dari biomassa cangkang kelapa sawit dapat menghilangkan pengotor Fe dalam bijih mangan dengan proses adsorpsi. Hal yang sama juga ditunjukkan dengan menurunnya Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dihasilkan setelah dilakukan proses pemurnian yaitu dari 14,3% hingga 0,52 % . Pengotor lainnya seperti Al, Si, K, Ba, Ca dan Ti juga mengalami penurunan setelah dilakukan proses pemurnian dengan metode pengendapan selektif menggunakan karbon dari biomassa cangkang kelapa sawit.

## IV. KESIMPULAN

Kadar mangan yang didapat setelah dilakukan proses pemurnian adalah sebesar 94,225%. Kadar mangan meningkat setelah proses pengendapan selektif dan adsorpsi. Hal ini dipengaruhi oleh menurunnya presentasi unsur-unsur pengotor seperti Fe, Si, Al, Ba, Ca, K, dan Mg. Proses pemurnian dengan metode adsorpsi dapat menghilangkan pengotor sebanyak 98 % Fe dari 1,326 % hingga 0,523% dan begitu juga dengan pengotor lainnya yang mengalami penurunan persentase. Biomasa yang paling bagus untuk dijadikan adsorben agar Mn tidak ikut

terserap adalah cangkang kelapa sawit (CKS) yang mampu mempertahankan Mn tidak ikut terserap sebesar 98,92%. Sistem kristal yang dihasilkan tetragonal dengan puncak tertinggi pada sudut  $2\theta = 25,3591^\circ$  dengan indeks miller (111) dan ukuran kristal  $\text{MnO}_2$  diperoleh sebesar 53,08 nm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abioye, A., M., Ani, F., N., *Renewable and Sustainable Energy Reviews***52**, 1282–1293 (2015).
- Andriyah, L., Sulistiyono, E., *Proses Pemurnian Mangan Sulfat dengan Pengendapan Selektif Menggunakan Karbon Aktif dan Larutan NaOH*, Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI, Bogor, 2018.
- Frackowiak, E., Abbas, Q., B'eguín, F., *Journal of Energy Chemistry***22**, 226–240 (2013).
- García, P., G., *Renewable and Sustainable Energy Reviews***108**, 3262-3274 (2017)
- Herianto, E., *Prosiding Indonesian Process Metallurgy (IPM) 2011*, hal. 160-17.
- Kementerian ESDM, *Indonesia Mineral and Coal Information 2015*, Departemen Jenderal Mineral dan Batubara, Hal. 5
- Mustofa, Puryanti, D., Budiman, A., *Jurnal Fisika Unand***7**, 195-201 (2018).
- Panjaitan, R. R., *Litbang Industri, Baristand Industri Surabaya*, Vol. 11 (2011).
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 25 Tahun 2018 tentang Pengusahaan Pertambangan Mineral dan Batu Bara
- Royani, A., Subagja, R., Manaf, A., *Jurnal Riset Teknologi Industri***11**, 87-52 (2017).
- Sumardi, S., Mubarak, M., Z., Saleh, N., *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, Lampung, 2013.
- Sumardi, S., Ristiana, R., Herlina, U., *Proseeding Seminar Material Metalurgi*, Yogyakarta (2007)
- Yucel, O., Emin A., M., *Turkey***1 20**, 5-6 (2011).
- Zhang, W., Cheng, C., Y., *Hydrometallurgy* **89**, 137- 159 (2007).