



ARTIKEL PENELITIAN

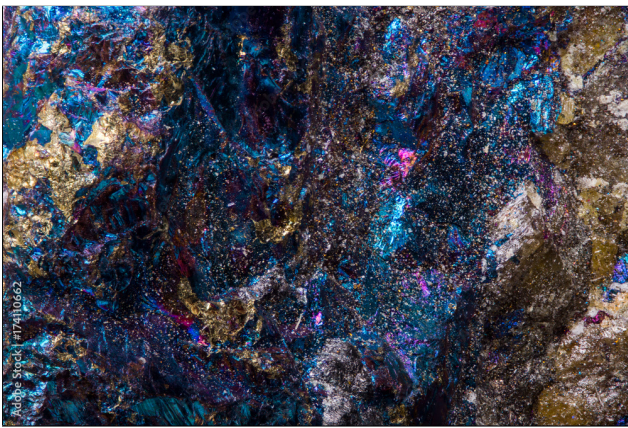
Dekomposisi termal mangan oksalat (MnC_2O_4) dari ekstraksi mangan dari bijih mangan Lampung menghasilkan mangan oksida

Nurul Istiqomah Nainggolan¹, Roniyus Marjunus¹, Jilda Sofiana Dewi², Yayat Iman Supriyatna², Harry Supriadi², Widi Astuti^{2,*}

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Univeristas Lampung, Lampung, Jalan Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, Lampung, 35144, Indonesia

²Pusat Riset Teknologi Pertambangan – Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTP-BRIN), Jalan Ir. Sutami Km.15, Tanjung Bintang, Sindang Sari, Lampung Selatan, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, 35361, Indonesia

Disubmit 05 Juli 2023; direvisi 17 Mei 2024; diterima 02 Juni 2024



OBJECTIVES Research on the thermal decomposition of manganese oxalate (MnC_2O_4) from manganese extraction product of Lampung manganese ore on manganese oxide recovery has been carried out. **METHODS** This study consisted of three main stages, namely reductive leaching, precipitation of manganese using oxalic acid to produce manganese oxalate, and thermal decomposition to produce manganese oxide. In the thermal decomposition process, MnC_2O_4 as much 1 g and 3 g using decomposition time of 30 minutes, 1, 2, and 3 hours; and the temperatures of 350, 450, 550, and 650°C. **RESULTS** Purity of manganese oxide from thermal decomposition is 96%. XRD analysis show a that at a mass of 1 g using a temperature of 350 dan 450 °C with variations time, manganese oxides phase is obtained hausmannite (Mn_3O_4) and bixbyite (Mn_2O_3). But at temperatures of 550 and 650°C the hausmannite phase compound is completely transformed into bixbyite phase with highest peak intensity at an angle of $2\theta = 33^\circ$. **CONCLUSIONS** While using a mass of 3 g with all variations of time and temperature showed the acquisition of two types of manganese oxide phase, namely hausmannite and bixbyite.

KEYWORDS manganese oxide; mass; Thermal decomposition; time and temperature.

TUJUAN Penelitian mengenai dekomposisi termal mangan

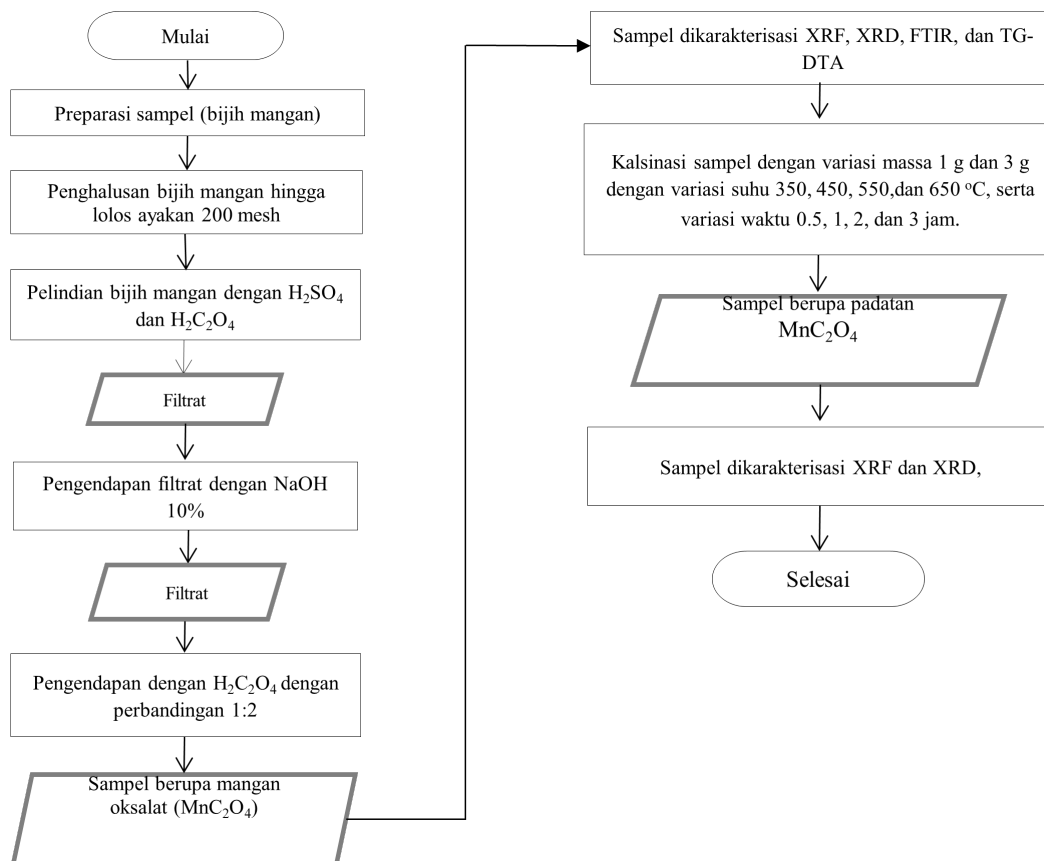
oksalat (MnC_2O_4) dari hasil ekstraksi mangan dari bijih mangan Lampung terhadap perolehan mangan oksida telah dilakukan. **METODE** Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan utama yaitu pelindian reduktif, pengendapan mangan menggunakan asam oksalat menghasilkan mangan oksalat, dan dekomposisi termal yang menghasilkan mangan oksida. Pada proses dekomposisi termal menggunakan berat MnC_2O_4 sebanyak 1 g dan 3 g; waktu dekomposisi 30 menit, 1, 2, dan 3 jam; serta suhu yang digunakan yaitu 350, 450, 550, dan 650°C. **HASIL** Kemurnian mangan oksida hasil dekomposisi termal rata-rata mencapai 96%. Analisis XRD menunjukkan pada berat 1 g menggunakan suhu 350 dan 450°C diperoleh jenis fasa mangan oksida hausmannite (Mn_3O_4) dan bixbyite (Mn_2O_3). Namun pada saat suhu 550 dan 650°C fasa hausmannite bertransformasi menjadi fasa bixbyite sepenuhnya dengan intensitas puncak tertinggi pada sudut $2\theta = 33^\circ$. **KE-SIMPULAN** Sedangkan pada saat menggunakan massa 3 g dengan semua waktu dan suhu menunjukkan perolehan dua jenis fasa mangan oksida yaitu hausmannite dan bixbyite.

KATA KUNCI dekomposisi termal; mangan oksida; massa; waktu dan suhu.

1. PENDAHULUAN

Bijih mangan merupakan salah satu sumber mineral yang jumlahnya cukup berlimpah di Indonesia, namun belum dimanfaatkan secara optimal. Potensi bijih mangan terdapat di Pulau Sumatera, Riau, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua (ESDM 2015). Pada Pulau Sumatera khususnya Provinsi Lampung, potensi bijih mangan dapat ditemukan di Kabupaten Tanggamus dan Kabupaten Way Kanan. Berdasarkan penelitian Sumardi dan Mufakhir (Sumardi dkk. 2013), kadar mangan dari bijih mangan yang berasal dari Kabupaten Tanggamus sebesar 33,84% dan dari Kabupaten Way Kanan sebesar 18,03%. Pemanfaatan mangan sebagian besar digunakan untuk tujuan metalurgi, yaitu untuk proses produksi besi baja. Sedangkan untuk tujuan non metalurgi antara lain untuk produksi baterai kering, keramik, gelas dan bahan kimia (Sahoo dkk. 2001).

*Korespondensi: widi005@brin.go.id



GAMBAR 1. Diagram alir penelitian.

Bijih mangan merupakan suatu senyawa oksida dimana di dalamnya terdapat jenis-jenis mineral seperti *pyrolusite*, *manganite*, *bixbyite*, *hausmannite*, *rhodochrosite*, *rhodnite* dan lainnya (Sukandarumidi 2009). Manfaat dari mineral seperti *pyrolusite*, *bixbyite* dan *hausmannite* digunakan untuk industri baterai (Riyanto 1994). Pengolahan bijih mangan dibagi menjadi dua metode yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi (Korbafo 2017). Ekstraksi bijih mangan dilakukan melalui metode pirometalurgi dengan kadar mangan di atas 44 % biasanya digunakan untuk kepentingan industri baja sebagai ferromangan (Zhang dan Cheng 2007). Sedangkan ma-

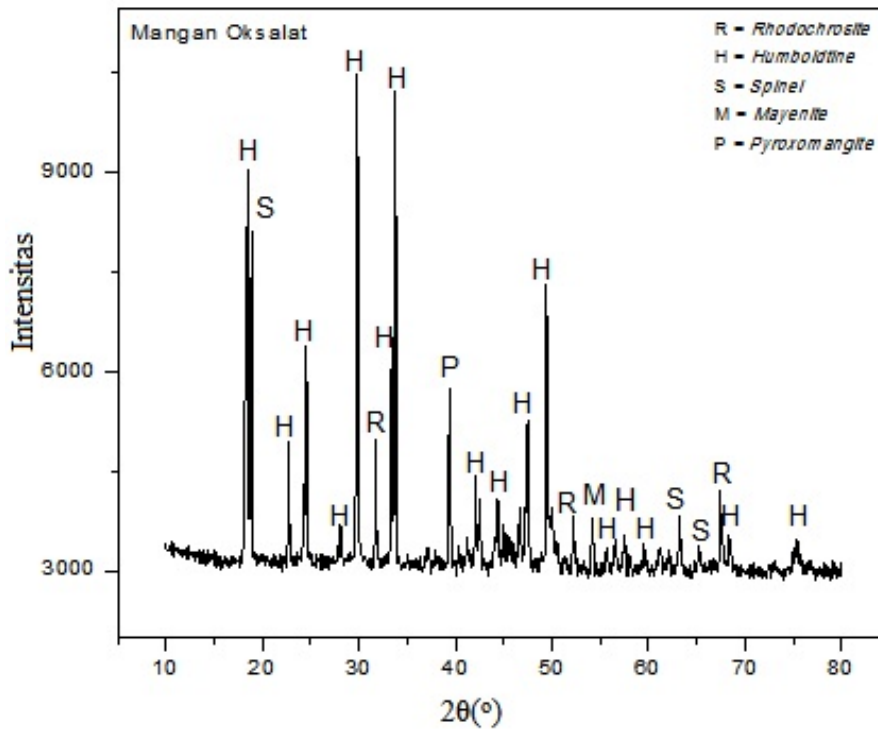
ngan dengan kadar rendah proses ekstraksi umumnya dilakukan dengan metode hidrometalurgi, seperti pelindian (*leaching*). Bijih mangan dapat diekstraksi dengan penambahan zat pereduksi yang diikuti oleh pelindian asam. Pelindian dilakukan dengan asam reduktif menggunakan zat pereduksi menggunakan asam yang berbeda, seperti yang dilakukan oleh Sumardi dkk (Sumardi dkk. 2013) yang melakukan pelindian campuran asam sulfat dan asam oksalat.

Mangan oksalat (MnC_2O_4) dapat diperoleh dari pengendapan hidroksida (MnSO_4) dengan asam oksalat. Mangan oksalat digunakan sebagai prekursor untuk memperoleh fasa logam, dan lain-lain (Gyrdasova dkk. 2009). Mangan oksalat secara aktif digunakan untuk menghasilkan mangan oksida berukuran nano dalam bilangan oksidasi yang berbeda. Salah satu metode yang digunakan untuk mangan oksida yaitu dekomposisi termal. Pada penelitian Małecka dkk. (2003), telah dilakukan dekomposisi termal mangan oksalat yang diinformasikan bahwa MnO ditemukan sebagai produk akhir reaksi pada kisaran suhu 334,85 – 349,85°C. Penelitian Korbafo [6] menggunakan variasi suhu 400, 600 dan 800°C terhadap mangan hasil pengendapan larutan MnSO_4 dengan massa sebesar 2 g. Diinformasikan bahwa pembentukan fasa mangan oksida *rhodochrosite* (MnCO_3) mulai terbentuk pada suhu 400°C serta pembentukan fasa mangan oksida *hausmannite* (Mn_3O_4) pada suhu 600 dan 800°C.

Pada proses dekomposisi termal, waktu dapat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi struktur dan tingkat kristalinitas yang dihasilkan. Lan dkk. (2015) melakukan sintesis δ - MnOOH nanorods serta konversi oksida MnO_2 , Mn_2O_3 dan Mn_3O_4 nanorods. Hasilnya menunjukkan bahwa pada suhu 400°C selama 4 jam terbentuk fasa MnO_2 nano-

TABEL 1. Hasil karakterisasi XRF mangan oksalat.

No.	Nama Unsur	Jumlah (wt%)
1.	Mn	96,600
2.	Zn	1,572
3.	Ca	0,674
4.	Cu	0,423
5.	Ag	0,292
6.	P	0,217
7.	Al	0,063
8.	Ni	0,046
9.	Cd	0,026
10.	Si	0,023
11.	Sc	0,021
12.	Yb	0,018
13.	Co	0,018
14.	As	0,003



GAMBAR 2. Hasil karakterisasi XRD mangan oksalat.

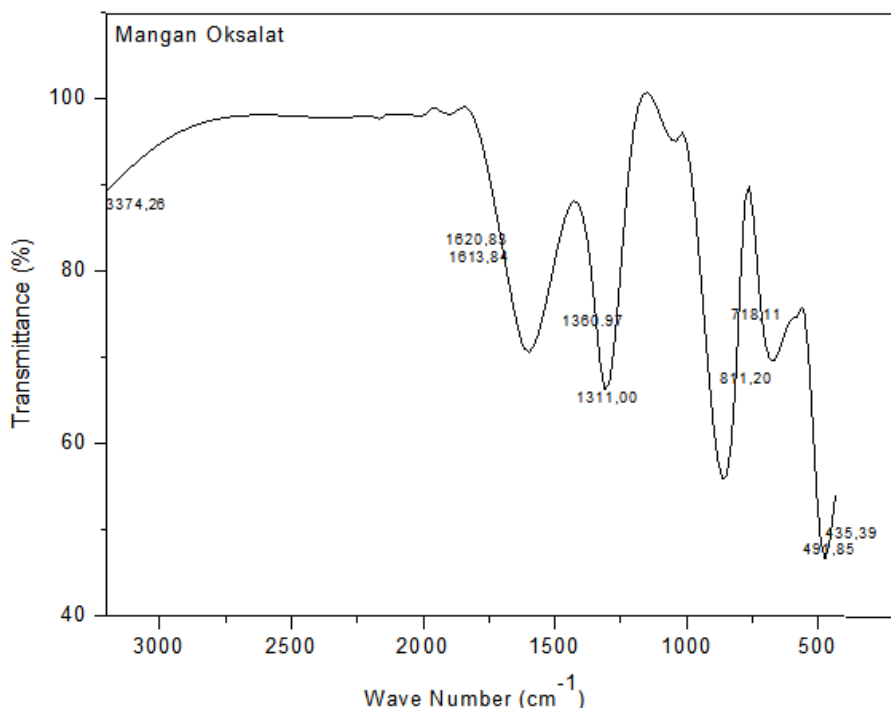
rods, sedangkan fasa Mn_2O_3 dan Mn_3O_4 nanorods diperoleh pada suhu $700^\circ C$ selama 5 jam. Berdasarkan uraian tersebut, maka pada penelitian ini akan menggunakan massa mangan oksalat yaitu 1 dan g; waktu 30 menit, 1, 2 dan 3 jam; serta suhu 350, 450, 550 dan $650^\circ C$. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari setiap variasi terhadap perolehan mangan oksida.

2. METODOLOGI PENELITIAN

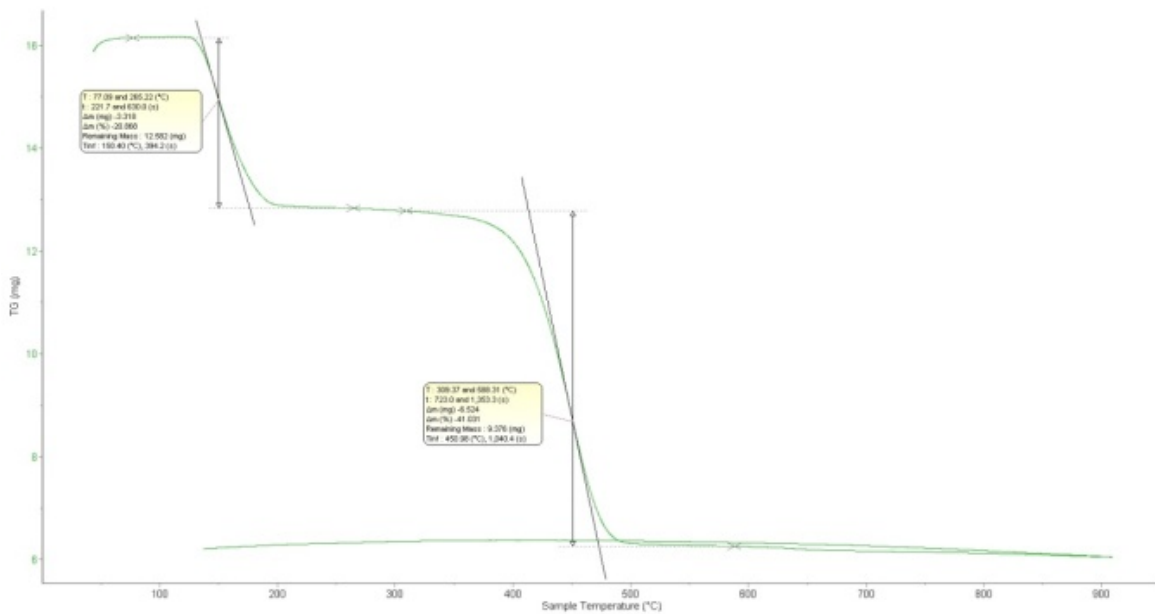
Untuk mengetahui alat dan bahan serta metode yang digunakan dalam proses penelitian ini, dapat dijelaskan sebagai berikut:

2.1 Alat dan Bahan

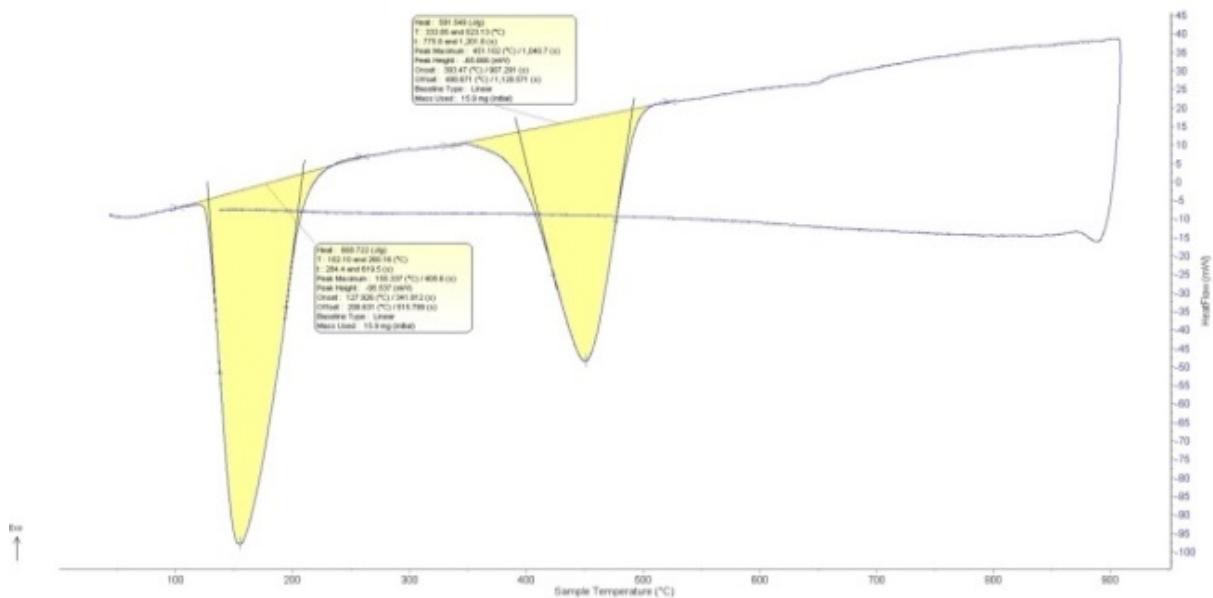
Peralatan yang digunakan adalah *muffle furnace*, timbangan digital, *X-Ray Diffraction* (XRD, PANalytical X'pert 3 Powder),



GAMBAR 3. Spektrum FTIR mangan oksalat.



(a)



(b)

GAMBAR 4. Hasil karakterisasi (a) TG; (b) DTA mangan oksalat.

X-Ray Fluorescence (XRF, Epsilon 3^{XLE}, PANalytical), Thermo Gravimetry Analysis-Differential Thermal Analysis (TG-DTA), dan Fourier Transform Infra Red (FTIR). Serta alat pendukung lain seperti mortar, ayakan 200 mesh, kuas lemari asam, beaker glass, erlenmeyer, corong kaca, pipet tetes, labu ukur, reactor leaching, magnetic stirrer, hotplate, thermometer, oven, cawan 30 ml, spatula, kertas saring, kertas lakmus, kertas label, plastik fliplock, tisu, botol plastik dan nampan. Bahan baku yang digunakan adalah bijih mangan yang berasal dari daerah Way Kanan, Provinsi Lampung serta bahan kimia yang digunakan meliputi asam sulfat, asam oksalat, NaOH 10 % dan aquades.

2.2 Metode Penelitian

Proses penelitian ditunjukkan secara keseluruhan pada Gambar 1. Untuk mendapatkan mangan oksalat sebagai bahan baku perolehan mangan oksida, dilakukan pelindian ter-

hadap bijih mangan menggunakan asam sulfat, asam oksalat sebagai agen pereduksi dan NaOH 10%. Larutan asam sulfat 6 % sebanyak 1000 ml dipanaskan di atas hotplate hingga mencapai suhu 80°C. Bijih mangan sebanyak 52,63 g ditambahkan sedikit demi sedikit. Campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 200 rpm selama 6 jam. Campuran kemudian disaring menggunakan kertas saring Wattman. Endapan yang terbentuk dibuang dan filtrat yang dihasilkan ditambahkan dengan NaOH 10% 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, sedangkan filtrat disimpan untuk dilakukan pelindian menggunakan asam oksalat.

Filtrat berupa MnSO₄ sebanyak 310 ml dimasukkan ke dalam beaker glass 1000 ml kemudian ditambahkan asam oksalat sebanyak 620 ml. campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 400 rpm selama 4 jam tanpa

menggunakan suhu. Campuran kemudian disaring, filtrat yang dihasilkan dibuang dan endapan yang terbentuk dikeringkan menggunakan oven yang kemudian akan dikalsinasi menggunakan furnace.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Mangan Oksalat (MnC₂O₄)

Karakterisasi awal mangan oksalat perlu dilakukan untuk mengetahui jenis unsur dan mineralnya. Proses karakterisasi ini dilakukan menggunakan instrumen XRF dan XRD. Hasil karakterisasi XRF dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, komponen utama dalam mangan oksalat dengan persentase tertinggi yaitu mangan (Mn) yang mencapai 96,000%. Sedangkan unsur lainnya memiliki persentase yang rendah yang ditampilkan pada tabel tersebut. Kemudian hasil analisis mangan oksalat menggunakan XRD dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan pola difraksi XRD pada Gambar 2 diketahui bahwa fasa mangan oksida yang terdapat dalam sampel MnC₂O₄ yaitu *humboldtine* (Fe(C₂O₄)(H₂O)) dengan intensitas puncak tertinggi yaitu pada sudut 2θ = 29,831°. Kemudian juga terdapat beberapa fasa mangan oksida lainnya yaitu *rhodochrosite* (MnCO₃), *spinel* (MgAl₂O₄), *mayenite* (Ca₁₂Al₁₄O₃₃), dan *pyroxomangite* (Mn_{0,97}Mg_{0,03}SiO₃). Beberapa fasa tersebut memiliki intensitas puncak yang rendah jika dibandingkan dengan fasa *humboldtine*.

Karakterisasi gugus fungsi juga dilakukan menggunakan instrumen FTIR yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan hasil spektrum FTIR tersebut menunjukkan puncak khas dari mangan oksida dalam penelitian ini berada pada bilangan gelombang sekitar 435,39 cm⁻¹; 491,85 cm⁻¹; 718,11 cm⁻¹; dan 811,20 cm⁻¹. Hasil bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Prieto dkk. (2003b), Prasetya (2011), dan Yanti dkk. (2014) dimana pada penelitian yang dilakukan oleh Prieto dkk. (2003b) pita serapan mangan oksida berada

pada bilangan gelombang 412 cm⁻¹ dan 3400 cm⁻¹. Kemudian pada penelitian Prasetya (2011) pita serapan mangan oksida berada pada bilangan gelombang 444,16 cm⁻¹; 520,98 cm⁻¹; dan 3449,50 cm⁻¹ serta pada penelitian Yanti dkk. (2014) berada pada bilangan gelombang 434,97 cm⁻¹; 532,38 cm⁻¹; dan 926,84 cm⁻¹.

Pita serapan juga muncul pada bilangan gelombang 1311,00 cm⁻¹ dan 1360,97 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya gugus CO Prieto dkk. (2003a). Pita serapan yang berada pada bilangan gelombang 1613,84 cm⁻¹ dan 1620,83 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi bending dari gugus OH berdasarkan penelitian Yanti dkk. (2014). Keberadaan gugus OH menunjukkan bahwa hidroksil dari air tidak dihilangkan sepenuhnya dari mangan oksalat. Menurut Prieto dkk. (2003b), pita serapan pada daerah sekitar 3400 cm⁻¹ pada mangan oksida disebabkan oleh tumpang tindih antara vibrasi *stretching* antisimetri dan simetri pada molekul air yang terletak pada interlayer.

Karakterisasi termal dari mangan oksalat dilakukan menggunakan instrumen TG-DTA. Karakterisasi *thermogravimetri analyzer* (TG) merupakan teknik pengukuran variasi massa (kehilangan massa, emisi uap, dan penambahan massa) sampel yang mengalami perubahan suhu dalam lingkungan terkontrol (Suherman 2009). DTA digunakan untuk mengetahui perubahan yang terjadi dimana bila suhu sampel lebih tinggi daripada suhu pembanding, maka perubahan yang terjadi adalah eksotermik. Begitu pula sebaliknya, bila suatu sampel lebih rendah daripada suhu pembanding maka perubahan yang terjadi disebut endotermik (Klancnik dkk. 2010). Hasil karakterisasi TG ditunjukkan pada Gambar 4a serta didukung dengan karakterisasi DTA yang ditunjukkan pada Gambar 4b.

Berdasarkan Gambar 4a menunjukkan penurunan massa sebesar 9,5 mg dengan 2 tahap penurunan massa. Tahap pertama terjadi penurunan massa yang cukup signifikan yaitu sebesar 2,5 mg pada suhu 77,09 – 265,22 °C. Kemudian pada tahap kedua terjadi penurunan massa yang sangat signifikan sekitar 7 mg pada suhu 309,37 – 265,22 °C. kedua tahap ini berhubungan dengan termogram DTA yang diketahui dari puncak-puncak endotermik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4a. Puncak endotermik menunjukkan terjadinya peristiwa termal seperti pelelehan, dekomposisi atau perubahan struktur fasa pada sampel.

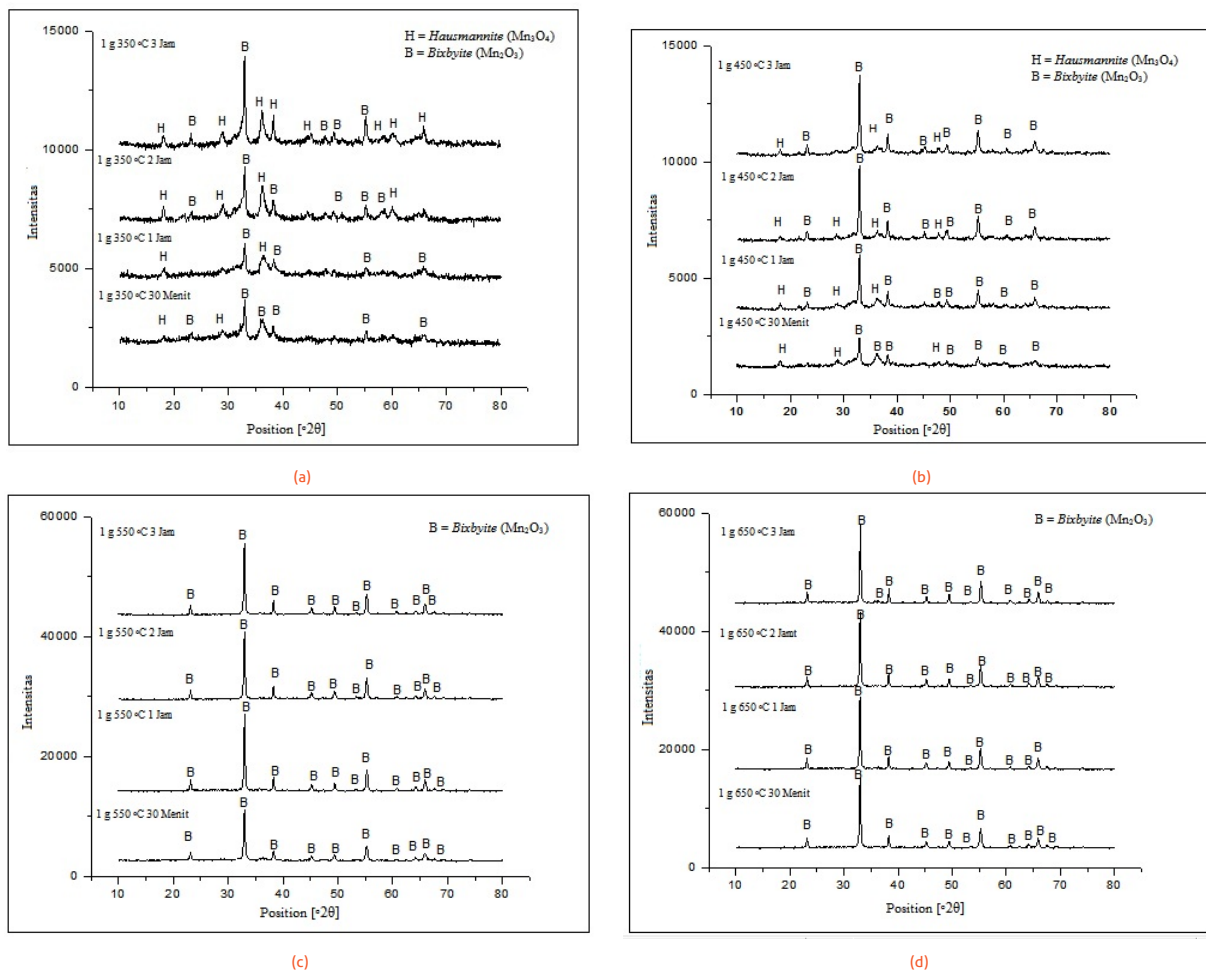
Berdasarkan Gambar 4b menunjukkan puncak endotermik pada suhu 102,10 – 260,16 °C yang didukung melalui hasil analisis TG dimana pada tahap I menunjukkan evaporasi dari air yang terabsorpsi pada permukaan. Kemudian puncak endotermik pada suhu 333,85 – 523,13 °C yang didukung melalui tahap II menunjukkan dehidrasi sampel. Puncak endotermik pada suhu sekitar 870 – 890 °C menunjukkan transformasi fasa mangan oksida. Transformasi terjadi pada suhu tinggi yang akan membentuk fasa metastabil dan terbentuknya struktur berongga (Prieto dkk. 2003b). Hasil analisis DTA menunjukkan terjadinya penurunan puncak pada suhu 102,10 – 523,13 °C, hal ini disebabkan karena mangan oksida mulai terdekomposisi yang kemudian mengalami transformasi fasa.

TABEL 2. Hasil karakterisasi XRF dekomposisi termal MnC₂O₄ massa 1 g menggunakan variasi suhu pada berbagai waktu kalsinasi.

Suhu (°C)	% Kadar MnO			
	Waktu			
	30 Menit	1 Jam	2 Jam	3 Jam
350	96,439	96,470	96,366	96,264
450	96,393	96,305	96,476	96,473
550	96,515	96,613	96,437	96,771
650	96,342	96,520	96,455	96,629

TABEL 3. Hasil karakterisasi XRF dekomposisi termal MnC₂O₄ massa 3 g menggunakan variasi suhu pada berbagai waktu kalsinasi.

Suhu (oC)	% Kadar MnO			
	Waktu			
	30 Menit	1 Jam	2 Jam	3 Jam
350	96,316	96,336	96,283	96,300
450	96,230	96,477	96,310	-
550	96,264	96,266	96,365	-
650	96,314	96,457	96,163	96,815



GAMBAR 5. Hasil karakterisasi XRD mangan oksalat massa 1 g menggunakan variasi suhu (a) 350°C; (b) 450°C; (c) 550°C; (d) 650°C pada waktu kalsinasi.

3.2 Pengaruh Massa MnC_2O_4 1 g dengan Variasi Suhu (350, 450, 550 dan 650°C) pada Berbagai Waktu Kalsinasi

Perolehan mangan oksida dari dekomposisi termal mangan oksalat dengan massa 1 g menggunakan XRF dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa mangan oksalat dengan massa 1 g menggunakan variasi suhu kalsinasi dengan waktu yang berbeda memperoleh mangan oksida dengan persentase tinggi, yaitu diatas 96%. Hal ini sesuai dengan hasil karakterisasi awal, di mana kandungan mangan dalam mangan oksalat sebelum terdekomposisi termal mencapai 96%. Untuk mengetahui jenis fasa mangan oksida yang diperoleh, dilakukan uji analisis menggunakan XRD yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.

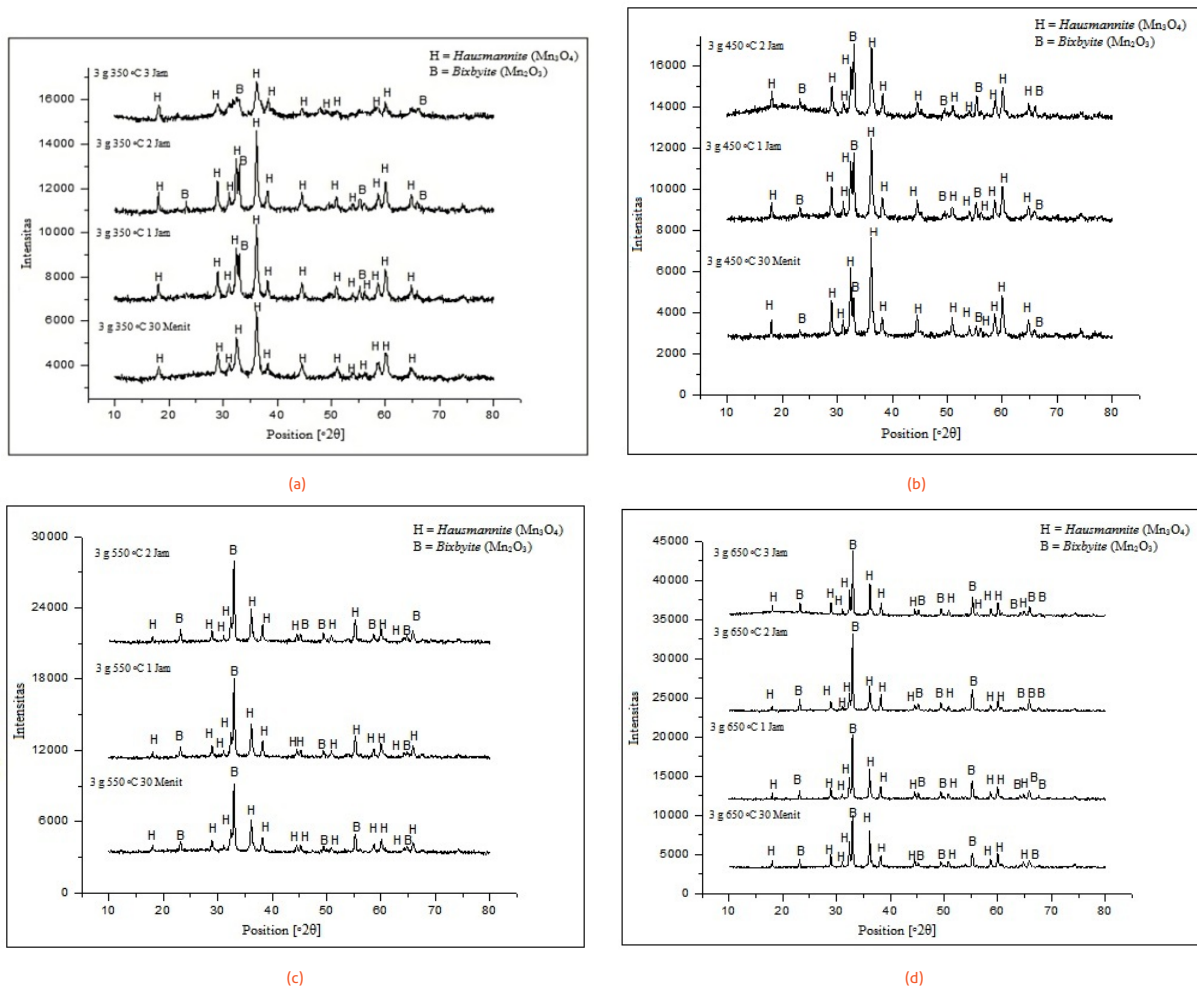
Berdasarkan difraktogram hasil karakterisasi menggunakan XRD tersebut menunjukkan bahwa pada suhu 350 dan 450°C jenis fasa mangan oksida yang diperoleh sama, namun sedikit berbeda pada sudut perolehannya. Pada kedua suhu tersebut terbentuk jenis fasa mangan oksida yaitu *hausmannite* (Mn_3O_4) dan *bixbyite* (Mn_2O_3). Kemudian saat suhu dinaikkan menjadi 550 dan 650°C menunjukkan terjadinya pembentukan satu jenis fasa mangan oksida yaitu *bixbyite*, dimana pada sudut $2\theta = 32,9871^\circ$ merupakan intensitas puncak tertinggi. Hal ini disebabkan pada kondisi ini masih terjadinya konversi oksida mangan (Sorensen dkk., 2010). Ketika suhu dinaikkan dari suhu 450°C menjadi 550°C, fasa *hausmannite* bertransformasi seutuhnya menjadi fasa *bixbyite*.

Hal ini berkaitan dengan hasil analisis DTA yang dilakukan pada mangan oksalat (MnC_2O_4) sebelumnya, dimana pada suhu sekitar 102,40 – 523,13°C terjadi penurunan puncak yang disebabkan karena mangan oksida mulai terdekomposisi yang kemudian mengalami transformasi fasa. Hal ini dapat menjelaskan bahwa variasi suhu kalsinasi mempengaruhi jenis perolehan mangan oksida.

3.3 Pengaruh Massa MnC_2O_4 3 g dengan Variasi Suhu (350, 450, 550 dan 650°C) pada Berbagai Waktu Kalsinasi

Perolehan mangan oksida dari dekomposisi termal mangan oksalat dengan massa 3 g menggunakan XRF dapat dilihat pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan bahwa mangan oksalat dengan massa 3 g menggunakan variasi suhu kalsinasi dengan waktu yang berbeda memperoleh mangan oksida dengan persentase tinggi, yaitu diatas 96%. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan perolehan mangan oksida saat menggunakan mangan oksalat dengan massa 1 g. Untuk mengetahui jenis fasa mangan oksida yang diperoleh, dilakukan uji analisis menggunakan XRD yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan difraktogram hasil karakterisasi menggunakan XRD tersebut menunjukkan bahwa mangan oksalat dengan massa 3 g yang dikalsinasi menggunakan variasi suhu memperoleh 2 jenis fasa mangan oksida, yaitu *hausmannite* dan *bixbyite*. Pada massa 3 g didominasi dengan perolehan mangan oksida *hausmannite*, namun intensitas puncak yang



GAMBAR 6. Hasil karakterisasi XRD mangan oksalat massa 3 g menggunakan variasi suhu (a) 350°C; (b) 450°C; (c) 550°C; (d) 650°C pada waktu kalsinasi.

diperoleh lebih rendah jika dibandingkan dengan fasa *bixbyite*. Intensitas puncak tertinggi pada fasa *bixbyite* diperoleh pada sudut $2\theta = 33^\circ$.

Pembentukan fasa *hausmannite* dari hasil dekomposisi termal dalam penelitian ini mulai terjadi pada suhu 350°C, namun dengan intensitas puncak yang masih rendah. Sedangkan fasa *bixbyite* juga mulai terjadi pada suhu 350°C dan terbentuk sempurna pada suhu 650°C dengan massa 1 g. Hasil ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, dimana pada penelitian [Korbafo \(2017\)](#) pembentukan fasa *hausmannite* terjadi pada suhu 600°C dan terbentuk sempurna pada suhu 800°C. Kemudian pada penelitian [Moradkhani dkk. \(2013\)](#) menginformasikan pembentukan fasa *hausmannite* terjadi ketika suhu diatas 850°C. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa konversi mangan oksida dan pembentukan oksida terjadi pada suhu kalsinasi yang berbeda dan tergantung juga pada sumber materialnya. Hal ini terbukti dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan dengan menggunakan sumber material mangan yang berbeda menghasilkan mangan oksida pada suhu kalsinasi yang berbeda-beda.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa komponen utama dari mangan oksalat yaitu Mn dengan persentase 96 %. Penggunaan massa, waktu dan suhu dapat mempengaruhi perolehan jenis fasa mangan oksida. Pada saat menggunakan massa 1 g dengan semakin

meningkatnya suhu serta waktu yang digunakan, diperoleh satu jenis fasa mangan oksida yaitu *hausmannite* namun tidak terjadi perolehan mangan oksida yang signifikan. Kemudian saat menggunakan massa 3 g dengan semakin meningkatnya suhu dan waktu yang digunakan, diperoleh dua jenis fasa mangan oksida yaitu *hausmannite* dan *bixbyite*, namun terjadi perolehan senyawa mangan oksida yang tinggi pada suhu 650 °C dengan waktu 3 jam.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas fasilitas, dukungan ilmiah dan teknis dari Pusat Riset Teknologi Pertambangan - Badan Riset dan Inovasi Nasional (P RTP-BRIN) Lampung. Pernyataan kontributor: dalam tulisan ini, semua penulis adalah kontributor utama.

DAFTAR PUSTAKA

ESDM. 2015. Data pertambangan mineral dan batu bara. <http://www.tekmira.esdm.go.id/>.

Gyrdasova OI, Krasil'nikov VN, Bazuev GV. 2009. Synthesis of micro- and nanosized manganese oxides from hydrated manganese oxalates and products of their chemical modification with ethylene glycol. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 54(7):1035–1040. doi:10.1134/S0036023609070080.

Klanclnik G, Medved J, Mrvar P. 2010. Differential thermal ana-

- lysis (DTA) and differential scanning calorimetry (DSC) as a method of material investigation. *Materials and Geoenvironment Journal*. 57:127–142.
- Korbafo E. 2017. Sintesis Mn₃O₄ dari pengendapan bijih mangan hasil pelindihan yang dikalsinasi pada berbagai temperatur. [Tesis magister]: Institut Sepuluh Nopember.
- Lan L, Li Q, Gu G, Zhang H, Liu B. 2015. Hydrothermal synthesis of γ -MnOOH nanorods and their conversion to MnO₂, Mn₂O₃, and Mn₃O₄ nanorods. *Journal of Alloys and Compounds*. 644:430–437. doi:[10.1016/j.jallcom.2015.05.078](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.05.078).
- Małecka B, Drozd-Cieśła E, Olszewski PK. 2003. Kinetics of thermal decomposition of manganese(II) oxalate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 74(2):485–490. doi:[10.1023/B:JTAN.0000005184.81064.f6](https://doi.org/10.1023/B:JTAN.0000005184.81064.f6).
- Moradkhani D, Malekzadeh M, Ahmadi E. 2013. Nanostructured MnO₂ synthesized via methane gas reduction of manganese ore and hydrothermal precipitation methods. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*. 23(1):134–139. doi:[10.1016/S1003-6326\(13\)62439-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(13)62439-5).
- Prasetya. 2011. Sintesis mangan oksida berlapis tipe birnessite dengan menggunakan metode sol-gel. [Tesis s2]: Universitas Riau.
- Prieto O, Arco MD, Rives V. 2003a. Characterisation of K, Na, and Li birnessites prepared by oxidation with H₂O₂ in a basic medium. Ion exchange properties and study of the calcined products. *Journal of Materials Science*. 38(13):2815–2824. doi:[10.1023/A:1024472116151](https://doi.org/10.1023/A:1024472116151).
- Prieto O, Del Arco M, Rives V. 2003b. Structural evolution upon heating of sol-gel prepared birnessites. *Thermochimica Acta*. 401(2):95–109. doi:[10.1016/S0040-6031\(02\)0503-8](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(02)0503-8).
- Riyanto A. 1994. Bahan galian industri mangan. Technical report. Direktorat Jendral Pertambangan Umum Departemen Pertambangan dan Energi Pusat Pengembangan Teknologi Mineral. Bandung.
- Sahoo RN, Naik PK, Das SC. 2001. Leaching of manganese from low-grade manganese ore using oxalic acid as reductant in sulphuric acid solution. *Hydrometallurgy*. 62(3):157–163. doi:[10.1016/S0304-386X\(01\)00196-7](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(01)00196-7).
- Suherman. 2009. Karakteristik fungsionalitas dan termal bahan keramik cordierite (Mg₂Al₄Si₅O₁₈) berbasis silika sekam padi akibat perlakuan kalsinasi. [Skripsi s1]: Universitas Lampung.
- Sukandarumidi. 2009. Geologi mineral logam. Yogyakarta: UGM Press, Universitas Gadjah Mada.
- Sumardi S, Mubarak M, Saleh N. 2013. Pengolahan bijih mangan menjadi mangan sulfat melalui pelindihan reduktif menggunakan asam oksalat dalam suasana asam. *Prosiding Semirata FMIPA*. Lampung: Universitas Lampung. <https://jurnal.fmipa.unila.ac.id/semirata/article/download/726/545>.
- Yanti P, Awaluddin A, Rida. 2014. Sintesis dan analisis sifat mangan oksida birnessite. [[Doctoral thesis]]: Universitas Riau.
- Zhang W, Cheng CY. 2007. Manganese metallurgy review. Part I: Leaching of ores/secondary materials and recovery of electrolytic/chemical manganese dioxide. *Hydrometallurgy*. 89(3-4):137–159. doi:[10.1016/j.hydromet.2007.08.010](https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2007.08.010).