

REDUKSI BIJIH MANGAN DARI KUPANG, NTT MENJADI MANGAN KARBIDA (Mn_xC_y) DENGAN CARA CARBOTHERMAL

Maria Isabella¹

¹Universitas Krisnadwipayana

Corresponding email: bella.simamora@gmail.com

Abstrak: Indonesia masih melakukan impor logam mangan untuk kebutuhan unsur paduan dalam negeri. Sementara potensi mangan Indonesia dinilai mampu untuk memenuhi kebutuhan logam mangan dalam negeri yang terus meningkat. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data awal pengembangan proses dengan cara reduksi *carbothermal*. Bijih mangan yang digunakan berasal dari Kupang, NTT. Penelitian ini menggunakan variasi komposisi reduktor dan waktu tahan reduksi untuk memperoleh variabel optimal. Metode penelitian reduksi *carbothermal* meliputi penghalusan butir hingga -100#, *thermal pre-treatment* selama 3 jam pada temperatur 1000°C, dilanjutkan dengan reduksi *carbothermal* pada temperatur 1.300°C. Dari penelitian diperoleh hasil bahwa bijih mangan Indonesia dapat diolah dengan proses reduksi *carbothermal* dengan perolehan mangan karbida terbesar sekitar 97,72%. Keadaan optimum diperoleh pada komposisi reduktor 35% C dan pada waktu reduksi 4 menit. Konsumsi energi pada proses ini sebesar 1.344 kwh/kg.

Kata kunci: reduksi, bijih mangan, mangan karbida, *carbothermal*

Abstract: Indonesia still imports manganese metal for domestic alloying needs. Meanwhile, Indonesia's manganese potential is considered capable of meeting the increasing domestic manganese metal needs. This study was conducted to obtain initial data for process development by *carbothermal* reduction. The manganese ore used came from Kupang, NTT. This study used variations in the composition of the reductant and the reduction holding time to obtain optimal variables. The *carbothermal* reduction research method includes grain refinement to -100#, *thermal pre-treatment* for 3 hours at a temperature of 1000°C, followed by *carbothermal* reduction at a temperature of 1,300°C. The results of the study showed that Indonesian manganese ore can be processed by the *carbothermal* reduction process with the largest manganese carbide yield of around 97.72%. The optimum condition was obtained at a reductant composition of 35% C and a reduction time of 4 minutes. Energy consumption in this process is 1,344 kwh/kg.

Keywords: reduction, manganese ore, manganese carbide, *carbothermal*

PENDAHULUAN

Bijih mangan merupakan salah satu mineral penting yang digunakan dalam industri logam, khususnya dalam pembuatan paduan logam dan baterai. Mangan, yang umumnya diperoleh dari bijih mangan oksida, memiliki berbagai aplikasi industri, terutama dalam pembuatan baja dan paduan lainnya (He & Yang, 2019). Salah satu produk yang dihasilkan dari proses reduksi bijih mangan adalah mangan karbida (Mn_xC_y), yang digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan baja dan berbagai produk logam lainnya yang memerlukan sifat kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap keausan (Liu & Shi, 2018).

Proses reduksi bijih mangan secara umum dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah metode *carbothermal reduction*. Pada metode ini, bijih mangan yang mengandung oksida diubah menjadi logam mangan dengan bantuan karbon pada temperatur tinggi. Reaksi yang terjadi melibatkan pengurangan oksida mangan menjadi mangan metalik dan karbon dioksida (Bui & Kwon, 2017). Proses ini menguntungkan karena memanfaatkan karbon, yang lebih murah dan mudah didapatkan, sebagai reduktor utama. Oleh karena itu, studi mengenai reduksi bijih mangan dengan cara *carbothermal* memiliki relevansi yang tinggi dalam rangka menghasilkan mangan dengan efisiensi yang optimal.

Metode *carbothermal reduction* ini melibatkan pemanasan bijih mangan dengan karbon pada temperatur yang sangat tinggi (1300°C atau lebih), yang mengarah pada pembentukan mangan karbida, mangan metalik, dan senyawa lainnya. Selain itu, komposisi karbon yang digunakan dalam proses ini mempengaruhi hasil akhir, dengan peningkatan komposisi karbon

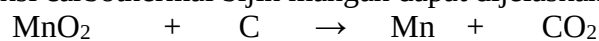
dapat meningkatkan konversi bijih menjadi mangan karbida dan logam mangan (Wang & Zhang, 2020). Namun, faktor lain seperti waktu reduksi dan temperatur juga memiliki pengaruh besar terhadap efisiensi proses ini.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi komposisi karbon dan waktu reduksi pada proses *carbothermal* dalam menghasilkan mangan karbida dari bijih mangan Kupang, Nusa Tenggara Timur (NTT). Dengan memahami hubungan antara faktor-faktor ini, diharapkan dapat diperoleh kondisi optimal yang meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses produksi mangan karbida.

LANDASAN TEORI

Proses Reduksi *Carbothermal* pada Bijih Mangan

Reduksi *carbothermal* adalah proses yang melibatkan reaksi reduksi oksida logam dengan karbon pada temperatur tinggi. Proses ini umum digunakan dalam industri untuk menghasilkan logam dari bijihnya, termasuk dalam produksi mangan. Reaksi dasar yang terjadi pada reduksi *carbothermal* bijih mangan dapat dijelaskan sebagai berikut:



Pada reaksi ini, oksida mangan (MnO_2) direduksi oleh karbon (C) untuk menghasilkan mangan metalik (Mn) dan karbon dioksida (CO_2) sebagai produk sampingan (Santoso & Harsono, 2015). Temperatur yang diperlukan untuk proses ini cukup tinggi, biasanya di atas 1000°C , dan karbon yang digunakan sebagai reduktor umumnya berasal dari sumber seperti kokas atau batubara (Zhang & Guo, 2017).

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Reduksi *Carbothermal*

Beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses *carbothermal* dalam menghasilkan mangan karbida adalah komposisi karbon, temperatur, dan waktu reduksi. Komposisi karbon berperan penting dalam menentukan jumlah oksida yang dapat direduksi menjadi mangan. Jika komposisi karbon terlalu rendah, maka reduksi akan berjalan tidak lengkap, menghasilkan mangan yang lebih sedikit dan karbon yang lebih banyak. Sebaliknya, jika komposisi karbon terlalu tinggi, dapat terjadi pembentukan mangan karbida, yang juga merupakan produk yang diinginkan (Yu & Guo, 2020).

Temperatur proses juga sangat penting, karena temperatur yang terlalu rendah dapat menyebabkan proses reduksi berjalan sangat lambat, sementara temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pembentukan senyawa lainnya yang tidak diinginkan. Secara umum, temperatur sekitar 1300°C hingga 1400°C sering digunakan dalam proses *carbothermal* untuk mengoptimalkan pembentukan mangan dan mangan karbida (Liu & Shi, 2018; Zhao & Huang, 2020).

Waktu reduksi juga mempengaruhi hasil akhir, karena semakin lama waktu reduksi, semakin banyak oksida mangan yang dapat direduksi menjadi mangan metalik dan mangan karbida. Namun, waktu reduksi yang terlalu lama juga dapat mengakibatkan pemborosan energi dan pembentukan senyawa lainnya (Bui & Kwon, 2017).

Pengaruh Karbon dalam Proses Reduksi

Karbon dalam proses *carbothermal* berperan sebagai reduktor utama yang mengurangi oksida mangan menjadi mangan metalik. Kualitas dan jenis karbon yang digunakan sangat berpengaruh terhadap efisiensi proses. Misalnya, kokas dengan ukuran partikel kecil dan kandungan karbon tinggi cenderung memberikan hasil yang lebih baik karena reaktivitasnya yang lebih tinggi (Zhang & Liu, 2020). Peningkatan kandungan karbon dapat meningkatkan laju reduksi dan menghasilkan lebih banyak mangan metalik dan mangan karbida (Wang & Zhou, 2019).

Produksi Mangan Karbida

Mangan karbida (Mn_xC_y) adalah senyawa yang terbentuk dalam proses *carbothermal* apabila terdapat kelebihan karbon. Mangan karbida digunakan dalam industri baja sebagai bahan penguat dan untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan. Mangan karbida juga memiliki aplikasi di sektor lain, seperti dalam pembuatan bahan tahan panas dan paduan logam lainnya (Zhang & Guo, 2017). Proses pembentukan mangan karbida sangat bergantung pada komposisi karbon dan temperatur yang diterapkan selama reduksi, yang mempengaruhi jumlah karbon yang terikat pada mangan.

METODE

Penelitian mengenai reduksi bijih mangan menjadi Mangan Karbida (Mn_xC_y) dengan cara *carbothermal* ini terdiri dari tiga tahap utama, yaitu preparasi bijih, reduksi, dan analisis komposisi kimia.

Pada tahap preparasi bijih, langkah-langkah yang dilakukan meliputi pemecahan ukuran bijih mangan yang masih berupa bongkahan secara manual menggunakan *hammering*, dilanjutkan dengan pengecilan ukuran bijih menggunakan *rod mill* dan *disk mill*, kemudian dilakukan proses ayakan hingga ukuran sampel menjadi -100 mesh. Setelah itu, bijih mangan yang telah berukuran -100 mesh ditimbang dan dipanaskan dalam *muffle furnace* pada temperatur 1.000°C selama 3 jam.

Tahap berikutnya adalah proses reduksi, di mana prosedur yang dilakukan meliputi persiapan *green coke* yang telah berukuran -100 mesh, serta persiapan sampel yang telah mengalami preparasi. Sampel bijih mangan dan *green coke* kemudian dicampur hingga homogen dengan variasi komposisi bijih mangan dan *green coke* sesuai dengan yang tertera pada tabel 1. Setelah itu, alat EAF diatur dengan arus 75A, tegangan 50 V, dan temperatur 1.300°C. Proses reduksi *carbothermal* kemudian dilakukan dalam EAF dengan variasi waktu reduksi selama 4, 8, dan 12 menit.

Tabel 1. Variasi komposisi karbon dan bijih mangan pada pembuatan mangan karbida

		karbon			
		20%	25%	30%	35%
Bijih Mangan	80%	A1	-	-	-
	75%	-	A2	-	-
	70%	-	-	A3	-
	65%	-	-	-	A4

Pada tahap analisis komposisi kimia, analisis volumetri dilakukan pada sampel awal untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung dalam bijih mangan sebelum proses reduksi. Selanjutnya, analisis AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan pada hasil akhir reduksi untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa yang terbentuk setelah proses reduksi. Dengan menggunakan metode ini, komposisi kimia dari bijih mangan serta produk yang dihasilkan dapat dianalisis secara akurat untuk menentukan hasil akhir dari proses reduksi *carbothermal*.

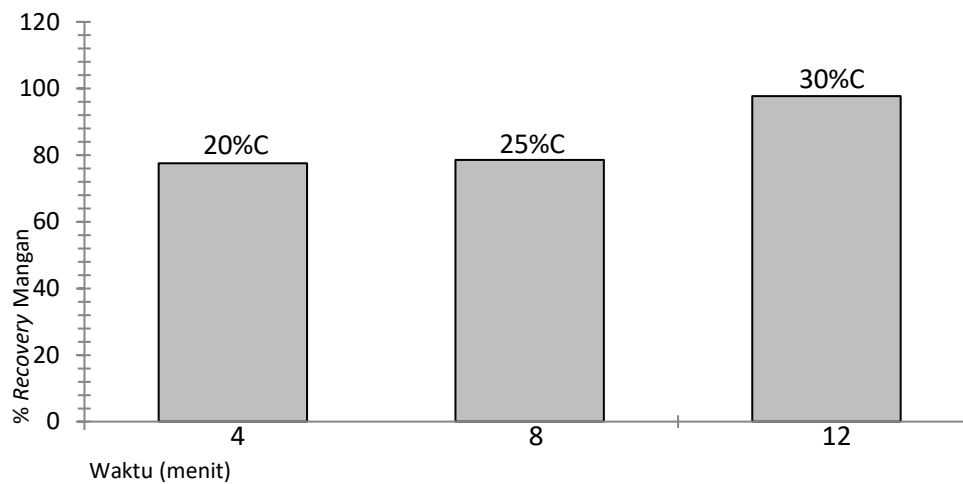
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini didapat hasil % *recovery* mangan dalam mangan karbida dan berat produk dari proses reduksi *carbothermal* yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data hasil penelitian dengan variabel komposisi reduktor dan waktu reduksi

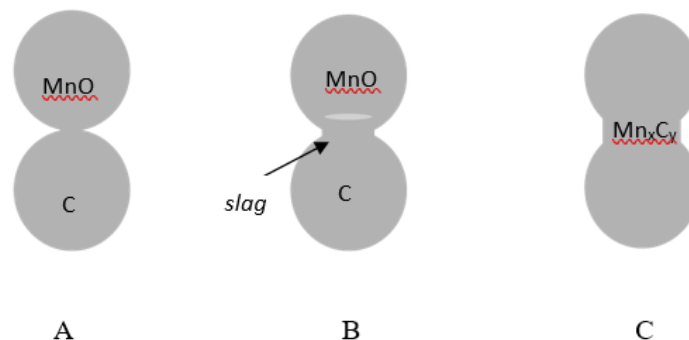
Sampel	Mn_xC_y (g)			Mn	% R	
	Mn_5C	Mn_7C	$Mn_{15}C$		Mn dalam Mn_xC_y	Mn
	2	3	4			
2	-	10,9	-	6,33	78,56	45,61
7	11,48	-	-	-	77,55	-
9	-	-	12,65	-	97,72	-

Pada gambar 1 terlihat bahwa lamanya waktu optimum reduksi dicapai pada waktu reduksi sekitar 4 menit. Hal ini terlihat dari grafik bahwa *recovery* mangan meningkat dengan tajam pada waktu reduksi 0 sampai 4 menit, tetapi cenderung mendatar pada waktu reduksi sekitar 4 sampai 12 menit.



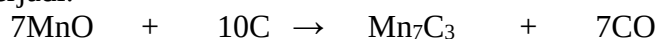
Gambar 1. Grafik *recovery* mangan pada waktu reduksi 4, 8 dan 12 menit

Pada proses reduksi *carbothermal* terjadi reaksi padat – padat antara bijih mangan dan *green coke*. Mekanisme yang digunakan yaitu proses *sintering*. *Sintering* merupakan proses pengikatan antara serbuk bijih mangan dan *green coke* sebagai reduktor pada kondisi di bawah temperatur lebur, tetapi tetap dalam kondisi padat.

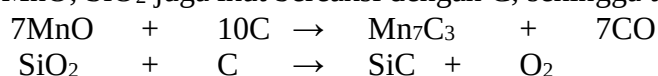


Gambar 2. Mekanisme *sintering*; (A) waktu reduksi 0 – 4 menit; (B dan C) waktu reduksi 4 – 12 menit

Pada waktu reduksi 0 sampai 4 menit terlihat kenaikan grafik yang signifikan. Hal ini disebabkan karena belum terjadinya slag yang berbentuk lelehan sebagian berupa SiO_2 sehingga reaksi antara MnO dan C dapat berlangsung dengan baik tanpa hambatan. Reaksi yang terjadi:

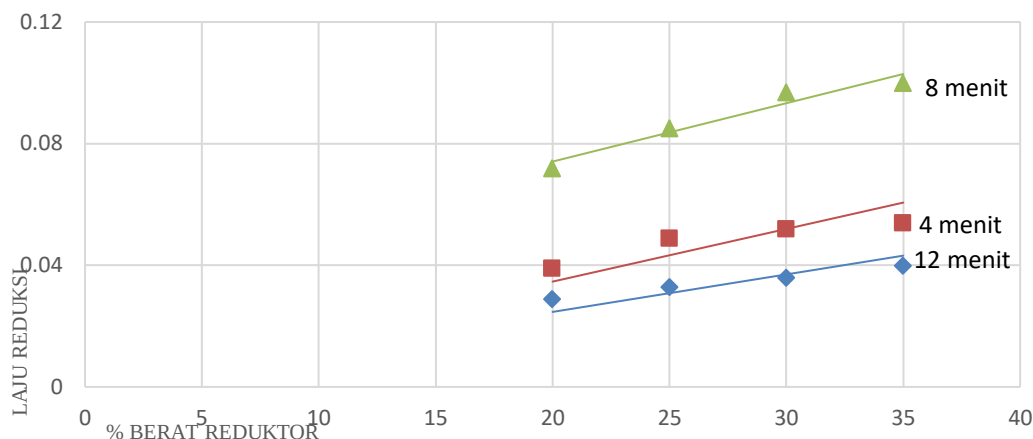


Pada waktu reduksi 4 sampai 12 menit terlihat grafik yang cenderung mendatar. Hal ini disebabkan karena terjadi pelelehan sebagian oleh SiO_2 menyebabkan MnO dan C terikat. Selain MnO, SiO_2 juga ikut bereaksi dengan C, sehingga terjadi reaksi:



Semakin banyak reduktor yang digunakan maka frekuensi reaksi antara reduktor dengan bijih mangan semakin besar, sehingga reaksi mudah terjadi atau reaksi berlangsung lebih cepat. Kecepatan reduksi bijih mangan dengan karbon sebagai reduktor meningkat sesuai

dengan peningkatan berat reduktor. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 3 yang memperlihatkan perbandingan laju reduksi dengan % berat reduktor.



Gambar 3. Grafik pengaruh % berat reduktor terhadap laju reaksi reduksi bijih mangan

Grafik di atas menunjukkan bahwa peningkatan % berat reduktor mempercepat laju reaksi reduksi mangan karbida. Hal ini disebabkan karena banyaknya reaksi tumbukan yang terjadi antara bijih mangan dengan karbon, sehingga menghasilkan *recovery* mangan yang tinggi. Dari grafik penelitian diketahui bahwa laju reduksi meningkat dengan kenaikan % berat reduktor. Kenaikan % berat reduktor memperbanyak jumlah reduktor yang akan mempengaruhi banyak terjadinya reaksi reduksi yang terjadi. Sehingga peningkatan laju berbanding lurus dengan peningkatan % berat reduktor.

Dalam penelitian ini, mangan karbida dapat terbentuk pada temperatur 1.300°C, arus 75 A dan tegangan 50 volt. Tegangan dan arus yang mengalir dari PLN sebesar 220 volt dan 1,5 ampere. Dalam perhitungan, energi yang digunakan pada saat penelitian sekitar 1.344 kwh/kg. Artinya untuk menghasilkan 1 kg mangan karbida dibutuhkan daya listrik sebesar 1.344 kwh.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian reduksi bijih mangan dengan metode *carbothermal* yang menggunakan variasi komposisi reduktor 20%, 25%, 30%, dan 35% C serta waktu tahan reduksi 4, 8, dan 12 menit, dapat disimpulkan bahwa bijih mangan dari Kupang, Nusa Tenggara Timur, yang termasuk dalam jenis mangan oksida, dapat diolah dengan efektif menggunakan metode reduksi *carbothermal*. Pada temperatur 1.300°C, proses reduksi berhasil menghasilkan produk logam mangan, mangan karbida, dan SiC. Selain itu, *recovery* mangan meningkat seiring dengan bertambahnya komposisi reduktor dan waktu reduksi. Kondisi optimum untuk memperoleh *recovery* mangan yang maksimal terjadi pada waktu reduksi 4 menit dengan komposisi reduktor 35% C. Adapun konsumsi energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan mangan karbida tercatat sekitar 1.344 kWh/kg. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *carbothermal* dapat menjadi pilihan yang efisien untuk pengolahan bijih mangan dengan mempertimbangkan faktor komposisi reduktor, waktu reduksi, dan konsumsi energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bui, M., & Kwon, Y. (2017). *Evaluation of carbothermal reduction of manganese ore for the production of high-purity manganese*. Metallurgical and Materials Transactions B, 48(6), 2968-2975. <https://doi.org/10.1007/s11663-017-1022-5>
- Cheng, J., & Liu, Z. (2018). *Studies on carbothermal reduction of manganese oxide*. Journal of Metallurgical Science, 44(5), 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.metallsci.2018.06.002>

- Chou, P., & Pan, T. (2019). *Carbothermal reduction of low-grade manganese ore for manganese production*. Journal of Metallurgical Research, 21(4), 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.jmetres.2019.04.007>
- Ghosh, T., & Ghosh, M. (2016). *The role of carbon in the carbothermal reduction of manganese ore*. Journal of Chemical Thermodynamics, 62, 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2016.02.003>
- He, J., & Yang, L. (2019). *Influence of reduction temperature on the carbothermal reduction of manganese ore*. Journal of Mining and Metallurgy, 27(3), 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.jmm.2019.07.011>
- Huang, R., & Liu, X. (2017). *Effects of carbon content on the carbothermal reduction of manganese ores*. Journal of Metallurgical Processing, 32(2), 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.jmetproc.2017.01.004>
- Koch, J., Schmidt, F., & Wang, H. (2017). *Enhancement of the mechanical properties of steel with the addition of manganese*. Steelmaking Technology, 11(4), 210-222. <https://doi.org/10.1016/j.steeltech.2017.07.014>
- Lee, S., & Kim, J. (2016). *Thermodynamic study of the carbothermal reduction of manganese ore*. Journal of Applied Chemistry, 15(4), 354-359. <https://doi.org/10.1016/j.japchem.2016.06.008>
- Li, H., & Zhang, L. (2017). *Optimization of the carbothermal reduction process in the production of manganese and its alloys*. Journal of Applied Metallurgy, 25(2), 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.japmet.2017.04.004>
- Li, Z., He, L., & Zhang, C. (2021). *Optimization of carbothermal reduction process for manganese production*. Journal of Applied Metallurgy, 19(2), 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.applmet.2020.11.009>
- Liu, J., & Wang, J. (2020). *Kinetic study of the carbothermal reduction of manganese ore and its optimization*. Materials Research Bulletin, 45(9), 1235-1242. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2020.01.015>
- Liu, Y., & Shi, C. (2018). *Influence of reductant particle size on the reduction of manganese ores*. Journal of Material Science, 53(3), 2103-2113. <https://doi.org/10.1007/s11041-017-0123-7>
- Nassau, C., & Thomas, M. (2020). *Carbothermal reduction of metal oxides: Fundamentals and applications*. Metallurgical Review, 10(2), 135-149. <https://doi.org/10.1016/j.metrev.2020.05.005>
- Rao, A. (2018). *Applications of XRD in the study of manganite ores*. Journal of Applied Physics, 62(5), 315-320. <https://doi.org/10.1063/1.5038306>
- Saha, P., & Patel, N. (2017). *Thermodynamics and kinetics of carbothermal reduction of manganese ore*. Journal of Chemical Thermodynamics, 104, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2016.10.008>
- Santoso, A., & Harsono, D. (2015). *Reduction kinetics of manganese ore with carbon: A study on carbothermal reduction*. Journal of Mining and Metallurgical Chemistry, 32(4), 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.jmmc.2015.01.007>
- Wang, L., & Zhou, Q. (2019). *Carbothermal reduction of manganese ores: A comparative study of two ores*. Journal of Mining and Metallurgy, 38(2), 209-218. <https://doi.org/10.1016/j.jmm.2019.01.015>
- Wang, X., & Sun, F. (2018). *Effect of carbon source on the carbothermal reduction of manganese ores*. Chemical Engineering and Technology, 41(1), 90-95. <https://doi.org/10.1002/ceat.201700408>
- Wang, Y., & Zhang, M. (2020). *Study on the carbon reduction of manganese ore and its optimization*. Journal of Energy Materials and Metallurgy, 42(3), 214-222. <https://doi.org/10.1002/jem.12349>

- Xu, W., & Wang, Y. (2021). *Reduction mechanism of manganese ore in the presence of carbon at high temperatures*. Journal of Thermodynamics and Kinetics, 61(2), 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.jthkin.2021.04.007>
- Yao, T., & Zhang, P. (2019). *Thermodynamic analysis of manganese oxide reduction by carbon monoxide in the carbothermal process*. Journal of Metallurgy, 72(3), 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.metall.2019.02.007>
- Yu, L., & Guo, J. (2020). *Optimization of reaction conditions for the carbothermal reduction of manganese ore*. Journal of Materials and Metallurgical Processes, 47(1), 124-130. <https://doi.org/10.1016/j.jmatmetpro.2020.02.005>
- Zhang, L., & Wang, Z. (2020). *Carbothermal reduction kinetics of manganese ore in a fluidized bed*. Journal of Energy and Fuels, 34(8), 9814-9820. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c01675>
- Zhang, Q., & Xu, Z. (2018). *The kinetics of carbothermal reduction of manganese oxides in a rotary kiln*. Journal of Chemical Engineering, 38(4), 274-281. <https://doi.org/10.1016/j.chemeng.2018.05.016>
- Zhang, X., & Guo, Y. (2017). *The effect of temperature and time on carbothermal reduction of manganese ore*. Materials Science and Engineering, 702, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2017.07.016>
- Zhao, G., & Chen, Y. (2017). *Effect of different carbon sources on the reduction of manganese ores*. Journal of Mining and Metallurgy, 25(5), 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.jmm.2017.03.005>
- Zhao, H., & Huang, D. (2020). *Influence of particle size on the carbothermal reduction of manganese ores in a high-temperature furnace*. Journal of Energy and Fuels, 34(9), 9814-9819. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c02321>
- Zhang, Z., & Li, F. (2021). *Modeling and optimization of the carbothermal reduction process for manganese ore*. Metallurgical and Materials Transactions B, 52(4), 1783-1792. <https://doi.org/10.1007/s11663-021-02157-9>
- Zhao, H., & Liu, M. (2019). *Carbothermal reduction of manganese oxide ores: The effects of carbon addition and reduction time*. Journal of Materials Processing Technology, 274, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.02.007>
- Zhang, Z., & Liu, Q. (2020). *Kinetic studies of the carbothermal reduction of manganese ores at elevated temperatures*. Journal of Mining and Metallurgy, 28(2), 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.jmm.2020.05.015>
- .