

Pemanfaatan bahan bakar fosil sebagai sumber bahan bakar dan agen pereduksi utama dalam industri baja sangat terkait dengan emisi CO<sub>2</sub>. Oleh karena itu, sebuah solusi alternatif untuk memproduksi baja hijau/*green steel* sangat didorong yaitu dengan menggunakan biomassa sebagai sumber bahan bakar dan reduktor. Dalam pertumbuhan, biomassa akan mengkonsumsi karbon dioksida dari atmosfer yang dapat disimpan untuk waktu yang bervariasi (*carbon dioxide removal* atau *CDR*). Penelitian ini menginvestigasi pengaruh biomassa dan tar hasil pirolisis biomassa terhadap reduksi bijih besi kualitas rendah.

Tiga jenis pelet digunakan dalam penelitian yaitu campuran bijih besi terdehidrasi dan cangkang kelapa sawit (E1), *carbonized ore* (E2), dan campuran *carbonized ore* dan cangkang kelapa sawit (E3). *Carbonized ore* dibuat dengan proses perendaman bijih besi terdehidrasi di dalam tar biomassa dengan dua variasi waktu perendaman dan dua variasi komposisi bijih besi:tar. Bijih besi hasil perendaman kemudian dikarbonisasi dalam reaktor *fixed bed* dengan aliran gas N<sub>2</sub> pada suhu 500 °C selama 1 jam. Eksperimen reduksi pelet dilakukan dalam reaktor *fixed bed* di bawah aliran gas N<sub>2</sub> dengan variasi temperatur (600-900 °C), variasi laju pemanasan untuk pelet E1 dan E2 (10-20 °C/men), dan variasi konsentrasi biomassa untuk pelet E3 (0-15 %). Reaksi reduksi dijalankan secara non-isotermal sampai temperatur tertentu dilanjutkan secara isotermal selama 60 menit. Parameter kinetika reaksi reduksi langsung sampel ditentukan menggunakan model persamaan kinetika yang dikembangkan dari persamaan reaksi *solid-state* dan *two-parallel reaction* dan menggunakan data TGA dalam penyelesaiannya.

Kondisi operasi perendaman bijih besi dalam tar yang optimum diperoleh adalah dengan komposisi bijih besi:tar sebesar 1:1,5 (g/ml) dan waktu perendaman nol menit dimana diperoleh deposit karbon sebesar 19,85%. Pengamatan hasil eksperimen reduksi pelet yang diuji dengan XRD dan SEM serta analisis gas hasil reduksi memperlihatkan bahwa semakin besar temperatur maka derajat reduksi semua jenis pelet cenderung akan meningkat, semakin besar laju pemanasan (sampel E1 dan E2) cenderung akan meningkatkan derajat reduksi di atas temperatur 700 °C, dan pengaruh kenaikan biomassa pada sampel E3 tampak terlihat pada suhu 900 °C untuk konsentrasi biomassa 10% ke atas. Perubahan fasa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> → FeO → Fe meningkat tajam mulai dari suhu 800 °C yang banyak dipengaruhi reaksi gasifikasi gas, *water gas reaction*, dan reduksi langsung oleh deposit karbon. Dari semua jenis pelet, pelet campuran *carbonized ore*+15% biomassa memiliki derajat reduksi tertinggi pada temperatur 900 °C dengan laju pemanasan 20 °C/men pada proses non isotermalnya. Model persamaan reaksi yang dapat digunakan untuk menganalisis hubungan kecepatan reaksi reduksi langsung proses terintegrasi non isotermal dan isotermal dengan pengurangan fraksi massa dari sampel. Model yang digunakan hanya melihat pengaruh agen reduksi karbon dalam reaksinya. Dari hasil simulasi terlihat bahwa model lebih *sensitive* untuk reaksi non-isotermal pada laju pemanasan lebih kecil dan suhu lebih rendah dr 900 °C. Kenaikan konsentrasi biomassa pada *carbonized ore* lebih berpengaruh pada kestabilan reaksi untuk kondisi isotermal.

Fossil fuels are still the steel industry's primary fuel source and reducing agent. The use of fossil fuels is closely related to CO<sub>2</sub> emissions. Therefore, an alternative solution for producing green steel is strongly encouraged, namely by using biomass as a fuel source and reducing agent. Biomass's growth consumes carbon dioxide from the atmosphere, which may be stored for various times (carbon dioxide removal or CDR). This study investigates the effect of biomass and tar from pyrolysis of biomass on the reduction of low-grade iron ore.

Three types of pellets were used in this study, those are a mixture of dehydrated iron ore and palm kernel shell (E1), carbonized ore (E2), and a mixture of carbonized ore and palm kernel shell (E3). Carbonized ore was made by impregnating dehydrated iron ore in biomass tar with two variations of immersion times and iron ore:tar compositions. The impregnated iron ore was then carbonized in a fixed bed reactor under N<sub>2</sub> gas flow at a temperature of 500 °C for 1 hour. Experiments of pellet reduction were carried out in a fixed bed reactor under N<sub>2</sub> gas flow with variations in temperature (600-900 °C), heating rate for pellets E1 and E2 (10-20 °C/min), and biomass concentration for pellets E3 (0-15 %). The reduction reaction was carried out non-isothermally to a specific temperature and then continued isothermally for 60 minutes. The kinetic parameters of the direct reduction reactions of the three pellet types were determined using a kinetic equation model developed from the solid-state and two-parallel reaction equations and using TGA data for its completion.

The optimum conditions for impregnation of iron ore in tar were the iron ore:tar ratio of 1:1.5 (g/ml) and the sample directly carbonized instead of impregnating for 24 hours, which resulted in a carbon deposit of 19.85%. Observations of gas analysis of the reduction and the pellet reduction results tested with XRD and SEM indicated that the greater the temperature, the degree of reduction of all pellets tend to increase. The greater the heating rate (sample E1 and E2) tend to increase the degree of reduction above the temperature of 700 °C. The effect of increasing biomass on sample E3 was showed at 900 °C for 10% and above biomass concentrations. The phase change of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> → FeO increased starting from 700 °C and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> → FeO → Fe enhanced significantly starting from 800 °C, which was strongly influenced by carbon gasification, water gas reaction, and direct reduction by carbon deposits. At 900 °C and a heating rate of 20 °C/min during the non-isothermal process, the mixed carbonized ore+15 % biomass pellet had the highest degree of reduction of all the pellets. The relationship between the reduction reaction rate of the integrated non-isothermal and isothermal processes and the mass fractions of carbon and iron oxides can be analyzed using the equation model. The model focuses only on the effect of carbon as a reducing agent. The simulation results showed that the kinetic reaction model was more sensitive to non-isothermal reactions at a lower heating rate and a temperature lower than 900 °C. For isothermal conditions, increasing the biomass concentration in carbonized ore had a larger effect on reaction stability.