

INTISARI

Beberapa negara di dunia termasuk Indonesia masih mengandalkan batubara sebagai sumber energi karena pertimbangan harga yang murah walaupun batubara memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. *Co-firing* batubara dan biomassa bisa menjadi solusi permasalahan pembakaran batubara. Namun, *co-firing* membutuhkan biomassa dengan kualitas yang seragam dan kepadatan energi yang tinggi. Kelemahan yang dimiliki biomassa dapat diperbaiki dengan torefaksi.

Penelitian ini diawali dengan proses torefaksi dalam tabung reaktor. Torefaksi dilakukan dalam tiga temperatur yang berbeda yaitu 200, 250, dan 300 °C dan empat *holding time* 0, 30, 60, dan 90 menit. Selanjutnya dilakukan evaluasi pengaruh torefaksi terhadap sifat-sifat kulit kakao dan karakteristik pembakarannya. Karakteristik pembakaran dan kinetika kulit kakao diteliti menggunakan Metode Coats - Redfern. Tahap terakhir dilakukan pengujian karakteristik *co-firing* pelet campuran batubara dan kulit kakao yang ditorefaksi untuk memperoleh data pengurangan massa, temperatur nyala api, dan emisi gas buangnya.

Proses torefaksi menghasilkan bioarang kulit kakao dengan persentase *fixed carbon* tertinggi 39,25 % dan HHV tertinggi 22,99 MJ/kg. *Mass yield* dan *enhancement factor* kulit kakao yang ditorefaksi masing-masing berkisar dari 54,6% hingga 86,7% dan 1,09 hingga 1,34, tergantung pada temperatur dan *holding time*. Penyerapan kelembaban kulit kakao menurun seiring dengan meningkatnya temperatur torefaksi dan *holding time*. Hemiselulosa pada kulit kakao yang ditorefaksi cenderung menurun seiring dengan kenaikan temperatur dan *holding time*, sedangkan lignin memiliki kecenderungan sebaliknya. Diketahui bahwa warna kulit kakao berubah dari coklat muda menjadi hitam karena peningkatan *fixed carbon* yang dipengaruhi temperatur torefaksi dan *holding time*. Keterkaitan antara penurunan nilai *grayscale* dari kulit kakao yang ditorefaksi dan peningkatan *higher heating value* (HHV) dapat diketahui dengan memeriksa perubahan warna menggunakan model *red green blue* (RGB). *Fixed carbon* dan HHV kulit kakao yang ditorefaksi meningkat hingga 17,5% dan 41,3% dibandingkan kulit kakao yang tidak ditorefaksi, sedangkan *volatile matter*nya menurun hingga 19,4%. Rasio atom O/C dan H/C masing-masing menurun dari 0,79 dan 1,68 menjadi 0,37 dan 1,01, yang sejalan dengan peningkatan kadar karbon dan penurunan kadar oksigen dan hidrogen. *Grindability* kulit kakao meningkat karena proses torefaksi. Hasil analisis termogravimetri membuktikan bahwa temperatur penyalaan dan temperatur habis terbakar bergeser ke nilai yang lebih tinggi, sedangkan puncak laju pengurangan massa cenderung turun ketika temperatur torefaksi dan *holding time* meningkat. Lama waktu pelepasan *volatile matter* pada proses pembakaran lebih pendek seiring dengan *holding time* yang lebih lama dan temperatur torefaksi yang lebih tinggi. Laju pengurangan massa maksimum kulit kakao adalah 0,120 g/menit, sedangkan kulit kakao yang ditorefaksi berkisar antara 0,046 hingga 0,144 g/menit. Laju pengurangan massa maksimum dari semua sampel menurun dengan meningkatnya *fuel ratio* (FR). Energi aktivasi meningkat secara bertahap dengan meningkatnya derajat torefaksi. Besarnya energi aktivasi pada tahap devolatilisasi dan pembakaran *volatile matter* lebih besar dibandingkan dengan tahap pembakaran arang. Pada tahap pembakaran *volatile matter*, energi aktivasi terendahnya 30,146 kJ/mol dan tertingginya 36,087 kJ/mol. Pada tahap pembakaran arang, energi aktivasi terendahnya 15,114 kJ/mol dan tertingginya 28,276 kJ/mol. Hasil penelitian *co-firing* menunjukkan bahwa laju pengurangan massa dan temperatur nyala api campuran semakin dekat dengan karakteristik batubara dengan semakin sedikitnya persentase kulit kakao yang ditorefaksi. Emisi CO dan NO_x dari campuran meningkat sebanding dengan persentase kulit kakao yang ditorefaksi campuran tersebut. Emisi CO



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Karakteristik Co-firing Batubara dan Kulit Kakao yang Ditorefaksi

UNTORO BUDI SURONO, Prof. Dr. Ing. Ir. Harwin Saptoadi, MSE.; Dr. Eng. Tri Agung Rohmat, B.Eng., M.Eng.

Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

rata-rata terendah pada komposisi 15 % bioarang kulit kakao yaitu sebesar 185,92 ppm. Emisi NO_x rata-rata terendah pada komposisi 15 % bioarang kulit kakao yaitu sebesar 28,62 ppm. Penambahan kulit kakao yang ditorefaksi pada batubara berpengaruh signifikan terhadap penurunan emisi SO_2 . Emisi SO_2 rata-rata terendah pada komposisi 45 % bioarang kulit kakao yaitu sebesar 17,48 ppm. Secara keseluruhan, studi ini menunjukkan bahwa kulit kakao yang ditorefaksi dapat digunakan sebagai bahan bakar tambahan pada *co-firing* batubara/biomassa dengan persentase tidak lebih dari 15 %.

Kata kunci: batubara; *co-firing*; emisi; kulit kakao; torefaksi; analisis thermogravimetri

ABSTRACT

Several countries in the world, including Indonesia, still rely on coal as an energy source due to the consideration of low prices, even though coal has a negative impact on the environment. Co-firing of coal and biomass is a potential solution for the problem of coal combustion. Unfortunately, co-firing requires uniform quality and high energy density biomass. The weakness of biomass can be improved by torrefaction.

This research was performed to evaluate the effect of torrefaction on cocoa pod shell (CPS) properties and combustion characteristics. The torrefactions were conducted in three different torrefaction temperatures of 200, 250, and 300 °C and four holding times of 0, 30, 60, and 90 min. combustion characteristic and kinetics of CPS after torrefaction process was investigated using Coats – Redfern Method. Co-firing characteristics of coal and torrefied CPS pellet were also investigated to know mass loss, flame temperature, and flue gas emission.

The torrefaction process produced CPS with the highest fixed carbon percentage of 39.25% and the highest HHV of 22.99 MJ/kg. Mass yield and enhancement factor of torrefied CPS ranged from 54.6 % to 86.7 % and 1.09 to 1.34, respectively, depending on temperature and holding time. Moisture absorption ability of CPS decrease as increasing torrefaction temperature and holding time. Hemicellulose in torrefied CPS tended to decrease along with the increasing of temperature and holding time, while lignin had the opposite trend. It was found that the color of CPS changed from light brown to black due to the increasing content of fixed carbon and depend on the torrefaction temperature and the holding time. Decreasing in the grayscale value of the torrefied CPS can be used to approximate increasing in higher heating value (HHV) by RGB model to evaluate color change. Fixed carbon content and HHV of torrefied CPS increased up to 17.5 % and 41.3 % compared to raw CPS, while the volatile matter decreased up to 19.4 %. O/C and H/C atomic ratio decreased from 0.79 and 1.68 to 0.37 and 1.01, respectively, which corresponded to the increase of carbon content and decreasing of oxygen and hydrogen contents. The grindability of CPS improved due to torrefaction process. The results of thermogravimetric analysis proved that the ignition and burnout temperatures shifted to higher value, while the peak of mass loss rate tend to decrease when the torrefaction temperature and the holding time increased. The period of volatile matter release during the combustion process was shorter along with longer holding time and higher temperature of torrefaction. The maximum mass loss rate of raw CPS was 0.120 g/min, while torrefied CPS has range between 0.046 to 0.114 g/min. The maximum mass loss rates of all samples decrease with increasing fuel ratio (FR). The activation energy increases gradually with increasing degree of torrefaction. The value of activation energy in the devolatilization and volatile matter combustion stage is greater compared to that of the char combustion stage. In the volatile matter combustion stage, the lowest activation energy is 30,146 kJ/mol and the highest is 36.087 kJ/mol. In the charcoal burning stage, the lowest activation energy is 15.114 kJ/mol and the highest is 28.276 kJ/mol. The results of the co-firing study showed that the mass loss rate and flame temperature of the blends were closer to the characteristics of the coal with the smaller percentage of CPS. CO and NO_x emissions of the blends increased in proportional to the percentage of torrefied CPS in the blend. The lowest average CO and NO_x emissions were obtained in the CPS composition of 15%, which were 185.92 ppm and 28.62 ppm, respectively. The addition of CPS to coal has a significant effect on a reduction in SO₂ emissions. The lowest average SO₂ emission was obtained in the CPS composition of 45%, which was 17.48 ppm. Overall, this study showed that torrefied CPS can be used as a supplemental fuel in coal/biomass co-firing up to 15 %.

Keywords: coal; cocoa pod shell; co-firing; emission; thermogravimetric analysis; torrefaction