

## ABSTRAK

### INOVASI *BURNER* SIKLON TUNGKU TERSUSPENSI UNTUK PEMBAKARAN PARTIKEL BIOMASSA RINGAN

Oleh

**Pasymi**

**NIM: 33014002**

**(Program Studi Doktor Teknik Kimia)**

Rumput gajah (*Miscanthus x giganteus*) merupakan salah satu biomassa energi yang potensial, dengan produktivitas energi rata-rata 517 GJ/hektar/tahun. Biomassa tersebut mudah dibudidayakan, dalam arti tidak membutuhkan pengairan, pemupukan, dan peptisida yang intensif. Tanaman ini bahkan dilaporkan dapat tumbuh pada tanah liat, lempung, dan berdebu. Dengan demikian, tanaman ini dapat diandalkan sebagai energi primer pada pembangkit listrik di Indonesia, terutama di pulau-pulau kecil dan daerah terpencil. Dari berbagai alur pemanfaatan rumput gajah pada pembangkit listrik, alur pembakaran langsung merupakan yang paling banyak digunakan karena lebih sederhana dan memiliki efisiensi panas yang lebih tinggi. Jenis tungku pembakaran yang ideal untuk biomassa pada pembangkit listrik adalah tungku pembakaran tersuspensi, karena proses pembakaran pada tungku tersebut memiliki efisiensi yang tinggi dan mudah dikendalikan. Rancangan tungku pembakaran tersuspensi biasanya bersifat unik dan sangat ditentukan oleh karakteristik bahan bakar, seperti ukuran, bentuk, densitas, dan kandungan kimiawi bahan bakar. Keunikan rancangan tungku tersuspensi terletak pada rancangan *burnernya*. Karakteristik bahan bakar yang berbeda membutuhkan rancangan *burner* yang berbeda pula.

Penelitian disertasi ini bertujuan untuk merumuskan rancangan *burner* untuk tungku pembakaran agar tungku tersebut mampu membakar partikel rumput gajah dalam keadaan tersuspensi. Untuk mewujudkan tujuan tersebut, ada 4 sasaran penelitian yang ditetapkan, yakni: (1) menyiapkan partikel rumput gajah kering, (2) menentukan karakteristik fisik dan kimiawi partikel rumput gajah kering, (3) melakukan inovasi *burner* tungku tersuspensi untuk keperluan pembakaran partikel rumput gajah, dan (4) menentukan karakteristik pembakaran partikel rumput gajah. Metode yang digunakan untuk melaksanakan penelitian disertasi ini adalah metode kombinasi, yakni gabungan antara metode pemodelan dan eksperimen. Gabungan kedua metode tersebut dilaporkan oleh beberapa peneliti terdahulu mampu memberikan hasil penelitian yang terpercaya dengan waktu yang relatif cepat dan biaya yang relatif murah.

Proses penyiapan partikel rumput gajah dilakukan dengan mencacah tanaman rumput gajah segar menggunakan mesin CM-01. Karakteristik fisik partikel rumput gajah kering yang diperoleh dari hasil pencacahan adalah sebagai berikut: diameter

rata-rata 1384  $\mu\text{m}$ , densitas curah partikel 101,23  $\text{kg}/\text{m}^3$ , densitas individual partikel 240  $\text{kg}/\text{m}^3$ , dan faktor bentuk sebesar 0,45. Sementara, hasil analisis proksimat dan ultimat dengan basis kering angin (adb) dari partikel rumput gajah adalah: kandungan air 12,35%, zat volatil 56,93%, karbon tertambat 18,87%, abu 11,85%, karbon 37,41%, hidrogen 5,99%, oksigen 43,48%, nitrogen 1,09%, sulfur 0,18%, dan nilai kalor sebesar 3.472 kkal/kg (14,53 MJ/kg).

Penentuan karakteristik pembakaran partikel rumput gajah dilakukan dalam dua jenis tungku, yakni tungku unggun diam dan tungku tersuspensi. Proses pembakaran tersuspensi dilakukan dalam sebuah tungku menggunakan bantuan *burner* siklon. *Burner* tersebut dipasangkan pada salah satu sisi tungku dengan posisi horizontal. Di samping sebagai penghantar bahan bakar ke dalam tungku, *burner* juga berfungsi untuk menginisiasi proses pembakaran dan menjaga bahan bakar dalam keadaan tersuspensi. Rancangan *burner* yang digunakan berbentuk silinder horizontal yang terdiri dari kepala dan badan *burner*. Pada bagian kepala *burner* terdapat sebuah *inlet* aksial dan 4 buah *inlet* tangensial. *Inlet* aksial berbentuk silinder dan dipasang konsentrik dengan kepala *burner*, dengan diameter  $1/3$  diameter kepala *burner*. Sementara, *inlet* tangensial berbentuk kotak empat persegi dan dipasang secara simetris di sekeliling kepala *burner*, dengan sudut kemiringan terhadap absis 20 derajat. Sementara badan *burner* merupakan silinder horizontal tempat terjadinya interaksi antara aliran aksial dan tangensial. Pada penelitian ini, panjang silinder *burner* divariasikan sebesar 1,5 dan 2,5 kali diameter *burner*.

Hasil uji coba pembakaran partikel dalam tungku unggun diam menunjukkan bahwa ada dua model pembakaran partikel yang terjadi dalam jenis tungku tersebut, yakni: (i) model pembakaran bersamaan (*simultaneous combustion*), di mana proses pembakaran zat volatil dan arang berlangsung secara bersamaan dan (ii) model pembakaran berurutan (*sequential combustion*), di mana proses pembakaran arang terjadi setelah pembakaran zat volatil selesai. Model pembakaran bersamaan ditemukan terjadi pada temperatur  $\leq 400^\circ\text{C}$ , sementara model pembakaran berurutan berlangsung pada temperatur  $\geq 450^\circ\text{C}$ . Pada proses pembakaran berurutan, proses penyalaan partikel selalu disertai oleh lidah api, sebaliknya pada model pembakaran bersamaan tidak terlihat munculnya lidah api. Makin tinggi temperatur tungku, makin cepat waktu penyalaan partikel. Pada temperatur  $\geq 550^\circ\text{C}$ , partikel rumput gajah bahkan dapat menyala secara spontan, sesaat setelah berada dalam tungku.

Sementara, hasil percobaan pembakaran partikel rumput gajah dalam tungku tersuspensi menunjukkan bahwa proses pembakaran dalam tungku tersebut dipengaruhi oleh intensitas pusaran aliran dan panjang silinder *burner*. Makin tinggi intensitas pusaran aliran, makin lama waktu alir partikel dalam tungku dan makin besar potensi partikel terbakar dalam kondisi tersuspensi. Akan tetapi, nilai intensitas pusaran aliran dibatasi oleh nisbah pembebanan partikel. Nisbah pembebanan partikel optimal dari sistem pengumpanan yang digunakan adalah 23,35%. Pada kondisi tersebut, intensitas pusaran awal aliran sebesar 7,52. Proses pembakaran pada tungku dengan *burner* silinder panjang ( $l = 2,5d$ ) dapat berlangsung dalam kondisi tersuspensi. Sementara, proses pembakaran partikel

rumput gajah pada tungku dengan *burner* silinder pendek ( $l = 1,5d$ ) menyerupai proses pembakaran pada tungku unggun diam, di mana proses pembakaran partikel terjadi di dasar tungku. Temuan lain yang diperoleh dari percobaan pembakaran dalam tungku tersuspensi adalah: (1) waktu alir partikel rumput gajah dalam tungku tidak selalu berbanding lurus dengan ukuran partikel dan (2) residu sisa pembakaran (arang) masih mengandung sejumlah zat yang dapat terbakar, yakni zat volatil dan karbon tertambat.

Dari hasil-hasil di atas dapat disimpulkan bahwa *burner* siklon yang dirancang, dengan panjang silinder *burner* 2,5 kali diameter *burner*, dapat membakar partikel rumput gajah kering berukuran  $< 5600 \mu\text{m}$  dalam kondisi tersuspensi. Efisiensi pembakaran dari rancangan tungku tersuspensi tersebut  $\pm 96\%$ .

Kata kunci: *burner* siklon, efisiensi pembakaran, intensitas pusaran aliran, nisbah pembebanan partikel, rumput gajah, tungku tersuspensi.



## **ABSTRACT**

### **INNOVATION OF SUSPENDED FURNACE CYCLONE BURNER FOR COMBUSTION OF LIGHT BIOMASS PARTICLES**

By

**Pasymi**

**NIM: 33014002**

**(Doctoral Program in Chemical Engineering)**

*Miscanthus x giganteus is one of the potential energy biomass, with an average energy productivity of 517 GJ/hectare/year. This biomass is very easily cultivated; does not require irrigation, fertilization, and pesticides, intensively. It is even reported can grow in clay, and dry and dusty soils. Thus, this biomass can be relied upon as primary energy in power plants in Indonesia, especially on small islands and remote areas. From the various ways of using Miscanthus x giganteus as fuel in power plants, direct combustion grooves are the most widely used because they are simpler and have higher heat efficiency. The ideal furnace technology for biomass in a power plant is the suspended furnace. The combustion process in this kind of furnace has high efficiency and is easily controlled. The design of suspended furnace is usually unique and is largely determined by the fuel characteristics. The uniqueness of the suspended furnace lies on the design of its burner. Different fuel characteristics require different burner designs.*

*This dissertation study aimed to formulate burner design of a furnace so that the furnace is able to combust the Miscanthus x giganteus particles in a suspended state. To realize this goal, 4 research objectives were established, namely: (1) preparing dry Miscanthus particles, (2) determining the physical and chemical characteristics of dry Miscanthus particles, (3) innovating burner designs for Miscanthus, and (4) determining the combustion characteristics of Miscanthus particles. The method used to undertake this dissertation research is a combination method, which is a combination of modeling and experimental methods. The combination of these two methods has claimed by previous researchers able to produce the reliable research results with relatively fast time and relatively low costs.*

*The preparing process of Miscanthus x giganteus particles was done by chopping fresh Miscanthus plants using CM-01 machine. The physical characteristics of dried Miscanthus particles obtained from chopping process were as follows: average diameter 1.384  $\mu\text{m}$ , bulk density 101.23  $\text{kg}/\text{m}^3$ , individual density 240  $\text{kg}/\text{m}^3$ , and shape factor of 0.45. Meanwhile, the proximate and ultimate analysis results are as follows (adb): water content 12.35%, volatile matters 56.93%, fixed*

carbon 18.87%, ash 11.85%, carbon 37.41%, hydrogen 5.99%, oxygen 43.48%, nitrogen 1.09%, sulfur 0.18%, and calorific value of 3,472 kcal / kg (14.53 MJ/kg).

Determination of combustion characteristics of *Miscanthus* particles was carried out in two types of furnace, namely fixed bed and suspended furnaces. The suspended combustion process in a furnace was carried out using the help of a cyclone burner. The burner is attached to one side of the furnace wall in a horizontal position. In addition to deliver fuel to the furnace, the burner also functions to initiate combustion process and to maintain the particles burning in suspended conditions. The burner design used for the suspended furnace consists of the head and body sections of burner. The head section was a cylindrical pipe embedded by an extended axial inlet and 4 tangential injections. The cylindrical axial inlet is mounted concentrically to the burner head, with a diameter ratio of axial inlet to the burner head is 0.33. Meanwhile, the rectangular tangential inlet is mounted symmetrically around the burner head, with a slope of 20 degrees to the abscissa. While the burner body is a horizontal cylinder where the interaction between axial and tangential flow occurs. In this study, the cylinder burner length was varied by 1.5 and 2.5 times of the burner diameter.

The particles combustion test results in the form of fixed beds indicated that there are two models of particle combustion that occur in this type of furnaces, namely: (i) simultaneous combustion model, where the combustion process of volatile substances and charcoal takes place simultaneously and (ii) sequential combustion model, where the charcoal combustion process occurs after the combustion of volatile substances is complete. The simultaneous combustion model was found to occur at temperatures of  $\leq 400^{\circ}\text{C}$ . There is no flame seen in the simultaneous combustion model, while the sequential combustion process is characterized by the presence of flames. The sequential combustion models take place at temperatures of  $\geq 450^{\circ}\text{C}$ . The higher the furnace temperature, the faster the *Miscanthus* particles ignite. Even at temperatures of  $\geq 550^{\circ}\text{C}$ , *Miscanthus* particles can ignite spontaneously shortly after being dropped in the furnace.

The combustion study in suspended furnace revealed that the combustion process of *Miscanthus* particles in the furnace is influenced by the swirl flow intensity and the burner cylinder length. The higher the swirl flow intensity, the longer the particles flow time in the furnace and the greater the potential of particles to be burned in a suspended state. However, the value of the swirl flow intensity is limited by the particle loading ratio. The optimal particle loading ratio obtained in this experiment was 23.35%, so the initial swirl flow intensity was only 7.52. The combustion process of *Miscanthus* particles in a furnace with a long burner cylinder ( $l = 2.5d$ ) can take place in a suspended form. Meanwhile, the combustion process of *Miscanthus* particles in a furnace with a short burner cylinder ( $l = 1.5d$ ) is similar to the combustion process in a fixed bed furnace, where the particle combustion process takes place at the base of the furnace. Other findings obtained from the combustion study in suspended furnaces are: (1) the particles flow time of *Miscanthus* in the furnace is not always directly proportional to the particle size and (2) the combustion residues (charcoals) still contain a little fixed carbon and volatile matters (combustible substances).

*From the results mention above, it could be concluded that the cyclone burner designed, with a burner cylinder length 2.5 times of the burner diameter, can burn -5600  $\mu\text{m}$  sized particles of dry Miscanthus in suspended state. The combustion efficiency of the proposed suspended furnace is  $\pm 96\%$ .*

*Keywords: combustion efficiency, cyclone burner, miscanthus x giganteus, particle loading ratio, suspended furnace, swirl flow intensity.*