

PEMBAKARAN RUMPUT GAJAH UNTUK MENGHASILKAN *HOT OIL* DAN MEMBANGKITKAN TENAGA LISTRIK PADA INDUSTRI KIMIA

COMBUSTION OF GRASS ELEPHANT TO PRODUCE HOT OIL AND RAISE ELECTRICITY IN THE CHEMICAL INDUSTRY

Agnes Cicilia Manopo^{1*}, Fika Dwi Oktavia¹, Nur Aini¹, Indah Lestari¹, Ari
Susandy Sanjaya¹, Novy Pralisa Putri¹, Yazid Bindar²

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No. 9 Kampus Gunung Kelua Samarinda

²Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung

*Email: agnescmanopo@gmail.com

(Received: 20 May 2020; Accepted: 30 June 2020; Available Online: 19 July 2020)

Abstrak

Penggunaan rumput gajah menjadi alternatif baru pengganti fosil. Pembakaran rumput gajah akan menghasilkan panas (*thermal*) yang mampu memanaskan *oil* sebagai pengganti *steam* dan berpotensi sebagai pembangkit listrik dengan siklus *Organic Rankine Cycle* (ORC) pada pabrik industri kimia. Pembakaran sempurna rumput gajah membutuhkan 50% udara berlebih untuk menghasilkan gas dengan komposisi N₂, CO₂, O₂, H₂O, SO₂, dan NO₂. Penggunaan bahan baku 730 kg rumput gajah mampu memanaskan therminol 66 (*hot oil*) pada suhu 300 °C dengan laju alir 38.400 kg/jam. Pada siklus *Organic Rankine Cycle* (ORC) digunakan R245FA sebagai fluida kerja yang bertekanan dan bersuhu tinggi. Terjadi perubahan fase pada R245FA dari fasa cair pada suhu 51°C menjadi fasa uap pada suhu 150°C dengan tekanan 31 bar yang terjadi di evaporator. Kerja sebesar 427 kW dapat dihasilkan dengan menurunkan suhu dan tekanan menjadi 106°C, 3 bar pada turbin dengan efisiensi kerja sebesar 27%. Penghematan dilakukan dengan cara mendaur ulang R245FA yang dilewatkan pada kondensor sehingga terjadi perubahan fase dimana R245FA menjadi fasa cair kembali pada suhu 50°C. R245FA di pompakan kembali menuju evaporator dengan menaikkan tekanan dan suhu. Siklus terjadi terus-menerus sehingga tidak perlu penambahan R245FA.

Kata kunci: Pembakaran, Rumput Gajah, *Hot Oil*, Listrik, ORC.

Abstract

The use of switchgrass becomes a new alternative to fossil replacement. The combustion of switchgrass will produce heat (thermal) that can heat the oil as a steam substitute and potentially as a power plant with Organic Rankine Cycle (ORC) cycle at chemical industry plant. Perfect combustion of switchgrass requires 50% of excess air to produce gas with the composition of N₂, CO₂, O₂, H₂O, SO₂, dan NO₂. The use of raw materials of 730 kg of switchgrass can heat therminol 66 (hot oil) at a temperature of 300 °C with flow rate of 38.400 kg / hour. In Organic Rankine Cycle (ORC), R245FA is used as high pressure and high temperature working fluid. There is a phase change in R245FA from the liquid phase at 51°C to the vapor phase at 150°C with 31 bar pressure occurring in the evaporator. Work of 427 kW can be produced by lowering the temperature and pressure to 106°C, 3 bar on the turbine with a working efficiency of 27%. Saving is done by recycling the R245FA passed on the condenser so that there is a phase change where R245FA becomes liquid phase back at 50°C. R245FA is pumped back to the evaporator by increasing pressure and temperature. The cycle happens continuously so no need to add R245FA.

Keywords: Combustion, Switchgrass, Hot Oil, Power Plant, ORC.

1. PENDAHULUAN

Rumput gajah sampai saat ini di Indonesia lebih banyak digunakan sebagai pakan ternak (Skerman dan Riveros, 1990) sedangkan diketahui mempunyai potensi tinggi dalam menghasilkan biomassa yang tinggi dengan nilai panas yang tinggi pula (Gan Thay Kong, 2002). Tanaman ini dapat hidup pada tanah kritis dimana tanaman lain tidak dapat tumbuh dengan baik (Sanderson dan Paul, 2008). Produktifitas rumput gajah adalah 40 ton per hektar berat kering pada daerah beriklim subtropis dan 80 ton per hektar pada daerah beriklim tropis (Woodard dan Prine, 1993) dengan kondisi ini sangat memungkinkan menjadi sumber energi. Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil karena sifatnya yang menguntungkan yaitu dapat dimanfaatkan secara lestari yang dapat diperbarui (Suhartoyo dan Sriyanto, 2017).

Proses konversi biomassa dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Konversi secara langsung dapat dilakukan dengan proses pembakaran, sedangkan secara tidak langsung dapat dilakukan dengan proses pirolisis dan gasifikasi yang mana yang membedakan keduanya adalah hasil proses dan perbandingan antara jumlah bahan bakar (biomassa) dengan udara yang digunakan (Suliono dkk, 2017). Pembakaran adalah kombinasi secara kimia yang berlangsung secara cepat antara oksigen dengan unsur yang mudah terbakar dari bahan bakar pada suhu dan tekanan tertentu (Tjokrowisastro dan Widodo, 1990). Panas (*thermal*) dari proses pembakaran mampu menghasilkan 2 produk yaitu *hot oil* dan listrik.

Ke Sun (2014) mengadakan penelitian mengenai gasifikasi biomassa untuk menghasilkan gas dimana hal yang mempengaruhi hasil percobaan adalah umpan temperatur uap, umpan temperatur udara dan perbandingan biomassa dengan suhu gasifikasi. Maka dapat diketahui bahwa suhu dikontrol pada suhu antara 800-850 °C. Panas berlebih kemungkinan akan terjadi yang dapat digunakan memanaskan udara. Pemanasan udara dapat memaksimalkan efisiensi kerja. Penelitian ini bertujuan untuk

mengetahui efisiensi rumput gajah terhadap pemanasan *oil* dan listrik yang dihasilkan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi menggunakan Aspen Plus V8.8 dari penggunaan bahan baku hingga menghasilkan produk. Data properti yang digunakan dibagi menjadi 2 tipe yaitu konvensional dan non konvensional. Terdapat 3 bagian simulasi utama yaitu pembakaran, *recycle hot oil* dan siklus ORC untuk menghasilkan listrik. Proses pembakaran menggunakan 3 reaktor yaitu *reactor stoic*, *reactor yield* dan *reactor gibbs*. Selain itu, proses pembakaran memerlukan 2 kalkulator manipulator untuk mengurangi kadar air pada *reactor stoic* dan menentukan gas-gas yang terbentuk pada *reactor gibbs*. Hasil dari pembakaran yang berupa panas (*thermal*) kemudian akan berfungsi memanaskan *oil* menggunakan prinsip perpindahan panas. *Hot oil* yang dihasilkan akan digunakan secara terus menerus. Penggunaan *hot oil* juga dilakukan pada siklus ORC yang berfungsi sebagai penghantar panas bagi R245FA (fluida kerja). R245FA sebagai fluida kerja pada siklus digunakan secara terus menerus. Listrik dihasilkan dari kerja turbin pada siklus ORC.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Switchgrass atau rumput gajah sebagai biomassa yang dipilih merupakan tanaman yang mempunyai nilai kalor yang tinggi jika dibandingkan dengan *corn stover* dan *sorghum*. Tanaman ini dapat tumbuh dan berkembang dalam berbagai kondisi iklim dan jenis tanah. Rumput gajah juga memiliki masa panen yang cepat sekitar 55-60 hari. Hasil pembakaran *switchgrass* dapat menghasilkan panas yang akan dipakai pada proses pemanasan *hot oil* dan penyedia listrik. Pembakaran *switchgrass* dengan massa 730 kg ini menggunakan bantuan udara yang mengandung O₂ dan N₂. Reaksi Pembakaran dapat menghasilkan gas-gas yang diasumsikan sebagai hasil dari pembakaran sempurna seperti CO₂, H₂O,

NO₂, SO₂, dan O₂. Sesuai dengan perhitungan didapatkan hasil kebutuhan udara seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kebutuhan Udara Dalam Pembakaran Biomassa

Kandungan	Kebutuhan (kg)
O ₂	1664,3740
N ₂	195.6630
Total Udara	7175.1363

Untuk memastikan proses pembakaran dapat berjalan sempurna, maka pembakaran dilangsungkan pada kondisi udara berlebih (*excess air*). Besarnya udara berlebih tergantung pada jenis bahan bakar dan alat/dapur pembakarannya. Menurut Muin pada tahun 1988, udara berlebih yang diizinkan berkisar antara 25-50%. Dalam penelitian ini, digunakan udara berlebih sebesar 50%, maka total udara yang diperlukan sebesar 10762,7043 kg. Hasil dari pembakaran dalam reaktor menghasilkan *hot gas* dengan suhu 653°C pada tekanan 1 atm sebagai produk. *Hot gas* akan digunakan untuk menaikkan suhu udara sebelum digunakan pada proses pembakaran serta dimanfaatkan kembali pada tahap awal yaitu pengeringan *switchgrass*, sedangkan *hot gas* sisa akan dilepas kelingkungan. Selama proses pembakaran, reaktor pembakar melepaskan panas (*thermal*) sebesar 1,36728 MMkcal/jam.

Panas yang dihasilkan oleh reaktor pembakaran mampu digunakan untuk memanaskan *oil* sebagai *thermal fluid* sebanyak 38.400 kg/jam dari suhu 146°C menjadi *hot oil* dengan suhu 300°C. Pada tahun 1995, di pabrik baja, diikuti oleh unit industri pertama untuk aplikasi biomassa, dipasang. Unit ini menghasilkan 300 kW dari minyak panas pada 300°C. *Hot oil* akan digunakan untuk kebutuhan pabrik utama dan untuk proses penyediaan listrik. Kebutuhan hot oil dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan Hot Oil

Kebutuhan	Laju Alir (kg/jam)
Proses Utama	7.764
Penyediaan Listrik	30.636
Total Hot Oil	38.400

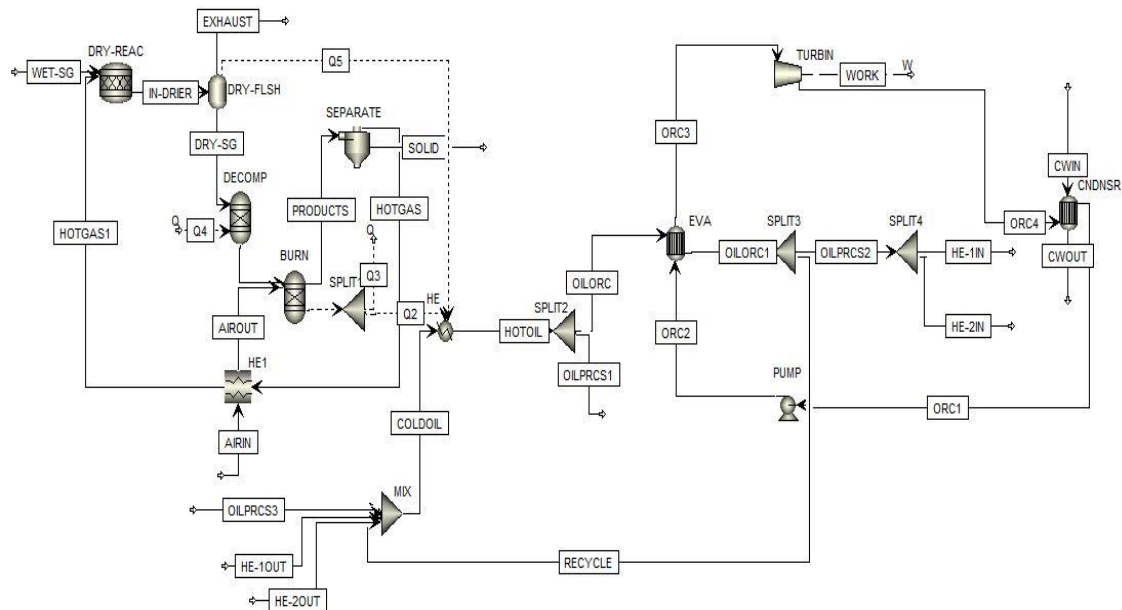
Therminol-66 digunakan dalam proses ini sebagai pengganti *steam*, *therminol-66* dipilih karena dapat digunakan pada tekanan atmosfer dan mempunyai titik didih yang tinggi yaitu 359°C sehingga *therminol-66* merupakan penghantar panas yang baik. Kualitas *hot oil* yang dapat digunakan dalam waktu panjang juga sebagai alasan menggunakan *oil* sebagai *thermal fluid* pada penelitian ini. Besar efisiensi pemanasan *oil* dengan bahan baku biomassa *switchgrass* yaitu 83,39%. Jadi, dapat dikatakan pemanasan ini cukup baik adanya jika dilihat dari angka maksimal efisiensi pemanasan adalah 85%.

Penyediaan listrik dalam penelitian kali ini yaitu dengan metode *Organic Rankine Cycle (ORC)* yang merupakan pembangkit listrik siklus biner yang memiliki prinsip kerja seperti siklus daya uap *rankine*. Hal yang membedakan siklus *rankine* dengan ORC adalah fluida kerja serta kondisi operasinya. Pada siklus *rankine*, fluida kerja yang digunakan adalah air. Sedangkan untuk sistem ORC fluida yang digunakan adalah fluida organik yang memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan dengan air yaitu dibawah 100°C. Menurut Chandra dan Himsar dalam jurnal riset industri tahun 2010 telah mengidentifikasi dan menganalisa fluida kerja organik yang cocok untuk di aplikasikan di Indonesia yaitu *Refrigerant* jenis R-245fa (*Pentafluoropropanes*). *Refrigerant* digunakan sebagai fluida kerja pengganti air karena titik didihnya yang rendah (sudah mendidih pada temperatur di bawah 50°C).

Hot oil di pompa menuju ke *heat exchanger* dengan suhu 300°C dan tekanan 1 atm untuk dilakukan pemanasan awal dan perubahan fase dari cair menjadi uap atau gas. Di dalam *heat exchanger*, fluida kerja yang berupa *refrigerant* akan menerima

kalor dari *hot oil* sehingga terjadi kenaikan suhu menjadi 150°C dengan tekanan 31 atm. Kemudian fluida kerja yang memiliki fase uap akan memutar turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik tersebut yang selanjutnya oleh generator diubah menjadi energi listrik sebesar 427 kW. Setelah melakukan proses ekspansi di turbin, fluida kerja akan di dinginkan melalui *condenser* dengan air

pendingin sehingga suhu refrigerant dari 107°C menjadi 50°C dengan tekanan 3,4 atm. Fluida kerja yang sudah di dinginkan tersebut akan berada dalam kondisi saturasi cair untuk kemudian dipompa kembali memasuki *heat exchanger*. Simulasi kerja dengan penggunaan *aspen plus V8.8* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Simulasi Pembakaran *Switchgrass* Untuk Menghasilkan *Hot Oil* dan Tenaga Listrik

Adapun efisiensi dari kerja siklus ORC terhadap panas (*thermal*) yang dibutuhkan dalam pemanasan *oil* adalah 27%. Besar efisiensi dipengaruhi oleh panas (*thermal*) yang diperlukan, semakin kecil panas yang dibutuhkan maka semakin besar nilai efisiensinya. Karena listrik yang dihasilkan dalam penelitian ini memanfaatkan panas

yang dihasilkan dari hasil pembakaran biomassa, maka dilakukan perhitungan juga besar efisiensi listrik yang dapat dihasilkan terhadap massa biomassa *switchgrass* yaitu sebesar 12%. Semakin sedikit biomassa yang diperlukan untuk menghasilkan listrik yang besar maka efisiensinya semakin besar.

4. KESIMPULAN

Sesuai dengan perhitungan didapatkan hasil yaitu besar efisiensi pemanasan *oil* sebagai *thermal fluid* terhadap 730 kg/jam *switchgrass* yang digunakan adalah 83,39%, besar efisiensi *hot oil* 38.400 kg/jam terhadap kerja yang dihasilkan oleh siklus *Organic Rankine Cycle* adalah 27%, dan besar efisiensi laju alir *switchgrass* terhadap listrik yang dihasilkan adalah 12%.

Pembakaran *switchgrass* dengan laju alir 730 kg/jam sebagai alternatif penghasil listrik yang digunakan pada pabrik mampu menghasilkan listrik sebesar 427 kW. Lebih banyak biomassa yang digunakan maka semakin besar listrik yang dihasilkan. Biomassa *switchgrass* dapat dijadikan alternatif baru sebagai pembangkit listrik.

REFERENSI

Chandra, B., dan Himsar, H., 2010. Identifikasi dan Analisa Refigerant

-
- Sebagai Fluida Kerja Siklus Rankine Organik untuk Aplikasi di Indonesia. *Jurnal Riset Industri* 4 (2).
- Gan Thay Kong, 2002. *Biomassa Bagi Energi Terbarukan*. PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Ke Sun, 2014. *Optimization of Biomass Gasification Reactor Using Aspen Plus*, Tesis Master, Telemark University College.
- Sanderson, M. A., Paul, R. A., 2008. *Perennial Forages as Second Generation Bioenergy Crops*. *Internasional Journal of Molecular Sciences* pp. 768-788.
- Skerman, P.J., Riveros, F., 1990. *Tropical Grasses, Food and Agriculture Organization, United Nations*.
- Suhartoyo, Sriyanto, 2017. *Effektifitas Briket Biomassa*. *Prosiding SNATIF Ke-4*.
- Suliono, Sudarmanta, B., Dionisius, F., Maolana, M., 2017. *Studi Karakteristik Reaktor Gasifikasi Type Downdraft Serbuk Kayu dengan Variasi Equivalensi Rasio*. *Jurnal Teknologi Terapan*.
- Tjokrowisastro, E.H., Widodo, B.U.K, 1990. *Teknik Pembakaran Dasar dan Bahan Bakar*, Institut Teknologi Surabaya.
- Woodard, K.R., Prine G.M., 1993. *Dry Matter Accumulation of Elephantgrass, Energycane and Elephantmillet in a Subtropical Climate*. *Crop Science*, 30, pp. 818-824.