

Desain dan Evaluasi Unjuk Kerja Pemanas Induksi sebagai Sumber Panas pada Alat Pirolisis

Suhardi Makmur, Muhammad Daud*, Adi Setiawan

Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Universitas Malikussaleh, Aceh Utara Indonesia

*Koresponden email: mdaud@unimal.ac.id

Diterima: 1 Agustus 2024

Disetujui: 5 Agustus 2024

Abstract

The use of renewable energy for rural electrification in Indonesia has great potential, including the potential for energy from biomass. One way to convert biomass into renewable energy is through the pyrolysis process. Heating technology in pyrolysis is currently under development, one of which uses electrical energy with induction heating technology. Therefore, the aim of this research is to design a pyrolysis tool with a suitable induction heater, where this tool is powered by an electrical energy source. The pyrolysis tool is designed to use an induction heater that is varied by using a three-coil and a seven-coil heating element. The pyrolysis tool design was then realised in prototype form with a length of 1500 mm, width of 1000 mm and height of 1400 mm. Prototype testing was carried out using one heater, with each coil variation operated until the pyrolysis reactor reached the design temperature of 500°C within 120 minutes. The test results of the prototype pyrolysis unit using an induction heater with a three-coil heating element showed that the reactor temperature could not reach the desired target, but only reached a temperature of about 305.6°C in 120 minutes, with the electrical energy required for one test being about 5 kWh. Meanwhile, tests using an induction heater with a seven-coil heating element showed that the reactor temperature target of 500°C in 120 minutes could be well achieved. The electrical energy required for a test using a seven-coil heater is approximately 8 kWh.

Keywords: *renewable energy, pyrolysis, induction heater, biomass, heating element*

Abstrak

Penggunaan energi terbarukan untuk elektrifikasi pedesaan di Indonesia memiliki potensi yang besar di antaranya potensi energi dari biomassa. Salah satu pengolahan biomassa menjadi energi terbarukan yaitu dengan proses pirolisis. Teknologi pemanasan pada pirolisis saat ini terus berkembang yang salah satunya menggunakan energi listrik dengan teknologi pemanas induksi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mendesain alat pirolisis dengan pemanas induksi yang tepat, dimana alat ini beroperasi menggunakan sumber energi listrik. Alat pirolisis didesain menggunakan pemanas induksi yang divariasikan menggunakan elemen pemanas tiga lilitan dan tujuh lilitan. Desain alat pirolisis kemudian direalisasikan dalam bentuk prototipe dengan ukuran panjang 1500 mm, lebar 1000 mm, dan tinggi 1400 mm. Pengujian prototipe dilakukan menggunakan elemen pemanas dengan masing-masing variasi lilitan yang dioperasikan hingga reaktor pirolisis mencapai suhu yang direncanakan yaitu 500°C dalam waktu 120 menit. Hasil pengujian prototipe alat pirolisis menggunakan pemanas induksi dengan elemen pemanas tiga lilitan menunjukkan bahwa temperatur reaktor tidak dapat mencapai target yang diinginkan, namun hanya mencapai suhu sekitar 305,6°C hingga waktu 120 menit, di mana daya listrik energi listrik yang dibutuhkan untuk satu kali pengujian adalah sekitar 5 kWh. Sedangkan pengujian menggunakan pemanas induksi dengan elemen pemanas tujuh lilitan menunjukkan bahwa target temperatur reaktor 500°C dalam waktu 120 menit dapat dicapai dengan baik. Adapun energi listrik yang dibutuhkan untuk satu kali proses pengujian dengan elemen pemanas tujuh lilitan ini adalah sekitar 8 kWh.

Kata Kunci: *energi terbarukan, pirolisis, pemanas induksi, biomassa, elemen pemanas*

1. Pendahuluan

Gas alam adalah sumber yang penting dalam suatu proses produksi, baik itu bahan bakar maupun bahan amonia. Akan tetapi, seiring berjalannya waktu pada persediaan gas bumi akan semakin menipis, di mana memerlukan adanya suatu program konservasi maupun peningkatan efisiensi energi yang baik dalam kalangan masyarakat hingga tingkat nasional untuk mengurangi penggunaan energi sehingga subsidi energi juga akan menurun [1]. Penggunaan dalam energi terbarukan untuk elektrifikasi di dalam pedesaan di Indonesia memiliki potensi, karena ribuan pulau dari kepulauan membuat penggunaan energi sulit dalam membangun sistim distribusi listrik yang saling terhubung[2],[3]. Selain berfokus pada pengembangan

energi terbarukan dalam mengatasi krisis energi listrik, hal yang menjadi pertimbangan lain yaitu isu lingkungan di mana pencemaran lingkungan dapat terjadi pada suatu proses pembangkitan listrik [4].

Salah satu bentuk solusi dalam mengurangi kelangkaan energi yaitu dengan menerapkan sistem konversi energi dari limbah biomassa [5]. Biomassa sendiri didefinisikan sebagai bahan organik, di mana diproduksi langsung atau secara tidak langsung dari organisme hidup tanpa terkontaminasi dari zat lain atau dari limbah [6]. Oleh sebab itu, diperlukan adanya suatu metode dalam pemanfaatan limbah sederhana untuk mengurangi masalah potensial teknologi konversi termokimia dalam pemulihan energi dari limbah yang dapat memainkan peran penting untuk mengurangi masalah limbah sisa dalam jumlah yang besar [7]. Berbagai permasalahan yang akan diselesaikan yaitu bagaimana cara mengoptimalkan proses penanggulangan pada limbah biomassa, baik pada sektor perkebunan maupun pada sektor peternakan serta pemanfaatannya kepada masyarakat dan lingkungan [8]. Pirolisis ini sendiri didefinisikan sebagai suatu proses degradasi termal material pada kondisi inert/tanpa adanya oksigen [9]. Beberapa parameter utama dalam pengoperasian pirolisis yaitu temperatur (*operating temperature*), waktu tinggal (*residence time*) dan laju pemanasan (*heating rate*). Adapun proses pirolisis tersebut dapat menghasilkan komposisi produk yang berbeda-beda [10].

Pirolisis merupakan suatu proses pendegradasian suatu bahan baku pada suhu sekitar 300 °C sampai 1000 °C dimana untuk menghasilkan gas yang dikondensasikan. Hasil dari pendegradasian bahan baku juga dapat disuling menjadi minyak dan residu yang berubah menjadi arang [11]. Secara umum, material yang diberi perlakuan panas pada temperatur mulai dari 200°C sampai 300°C dapat menghasilkan suatu produk dalam bentuk padat [12]. Material yang diberi perlakuan panas pada temperatur tinggi yaitu 400 °C sampai 600 °C dapat menghasilkan suatu produk berbentuk cairan, sedangkan pada temperatur yang sangat tinggi yaitu di atas 800 °C, dapat menghasilkan produk gas [10].

Pemanas listrik merupakan suatu peralatan yang secara umum digunakan di kehidupan sehari-hari, prinsip kerjanya yaitu menggunakan suatu elemen pemanas yang dialiri arus listrik. Lalu energi listrik di tersebut dapat diubah menjadi energi panas yang terjadi pada suatu elemen pemanas.

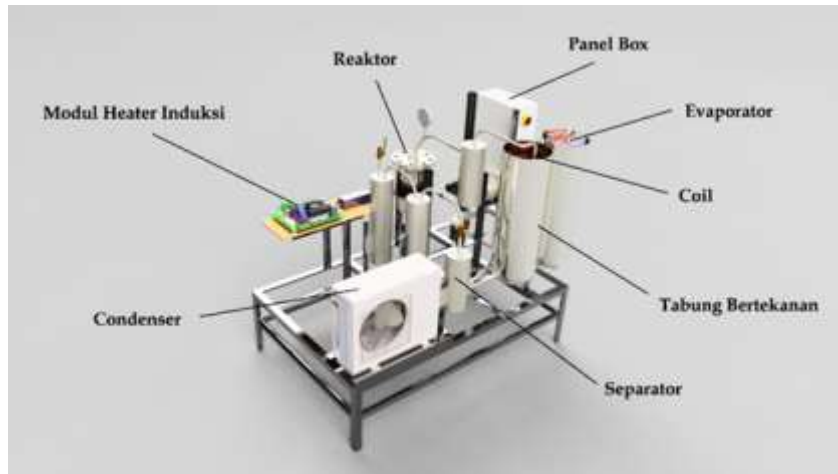
Pemanas induksi adalah suatu alat yang dapat menimbulkan panas pada logam ketika terkena induk medan magnet. Hal ini disebabkan karena pada logam tersebut timbul suatu proses eddy current yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet yang dapat menembus logam, sehingga menyebabkan panas pada logam [13]. Elemen pemanas berbentuk lanjut merupakan salah satu modifikasi dari elemen pemanas berbentuk dasar yang dilapisi suatu pelat logam atau pipa sebagai sarana penyesuaian terhadap penggunaan dari elemen pemanas [14]. Logam yang sering digunakan secara umum yaitu kuningan, stainless steel, mild steel, dan tembaga [15].

2. Metode Penelitian

Penelitian Awal dan Persiapan

Penelitian awal dan persiapan dalam penelitian ini mencakup desain gambar teknik, proses fabrikasi alat, dan pengujian pirolisis. Bahan dan peralatan juga dipersiapkan selama penelitian, yaitu bahan baku biomassa sekam padi. Subsistem pada alat pirolisis mencakup reaktor, condenser, separator, coil, water cooling system, modul pemanas induksi, power supply, panel box, tabung pendingin, rangka dan pompa sirkulasi pendingin.

Metode dalam penelitian ini yaitu melakukan pengujian pirolisis menggunakan dua variasi lilitan elemen pemanas, yaitu tiga lilitan dan tujuh lilitan. Mengamati temperatur yang ada di dalam reaktor hingga mencapai suhu yang diinginkan. Memastikan segala macam peralatan pirolisis, juga perangkat modul pemanas induksi dalam keadaan optimal. Memantau tekanan pada reaktor dan menjaga temperatur modul pemanas induksi untuk berada pada suhu yang optimal agar modul tidak overheat selama proses pirolisis berlangsung. Gambar desain alat pirolisis yang dikembangkan menggunakan pemanas induksi ditampilkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Desain alat pirolisis yang dikembangkan

Penelitian Utama

Dalam penelitian ini, pendekatan eksperimental dilakukan menggunakan bahan baku 100 gram sekam padi. Lalu bahan baku tersebut dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian dilakukan proses pirolisis hingga mencapai temperatur 500°C dalam waktu 120 menit. Penelitian ini juga melihat perbandingan dari dua variasi lilitan elemen pemanas pada modul pemanas induksi, yaitu tiga lilitan dan tujuh lilitan. Hasil dari penelitian pirolisis untuk mendapatkan laju kenaikan temperatur per menit dan konsumsi daya listrik selama proses pirolisis berlangsung. Produk hasil dari proses pirolisis ini yaitu biochar dan bio oil.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil prototipe alat pirolisis

Dalam suatu desain haruslah menghasilkan dimensi yang akurat, juga tepat dalam menyusun komponen-komponen peralatan dalam suatu mesin. Pada hal ini menjadi penting agar memudahkan dalam mendesain dan juga proses perakitan suatu mesin. Hasil prototipe dari alat pirolisis didapati dimensi total yaitu panjang 1500 mm, lebar 1000 mm, dan tinggi 1400 mm. Subsistem pada prototipe alat pirolisis mencakup reaktor, condenser, separator, lilitan elemen, water cooling system, modul pemanas induksi, power supply, panel box, tabung pendingin dan rangka. Untuk hasil ukuran reaktor didapatkan diameter 146 mm dan tinggi 755 mm, dengan dimensi volume sekitar 5.32 cm³. Hasil prototipe alat pirolisis dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Prototipe alat pirolisis yang dikembangkan

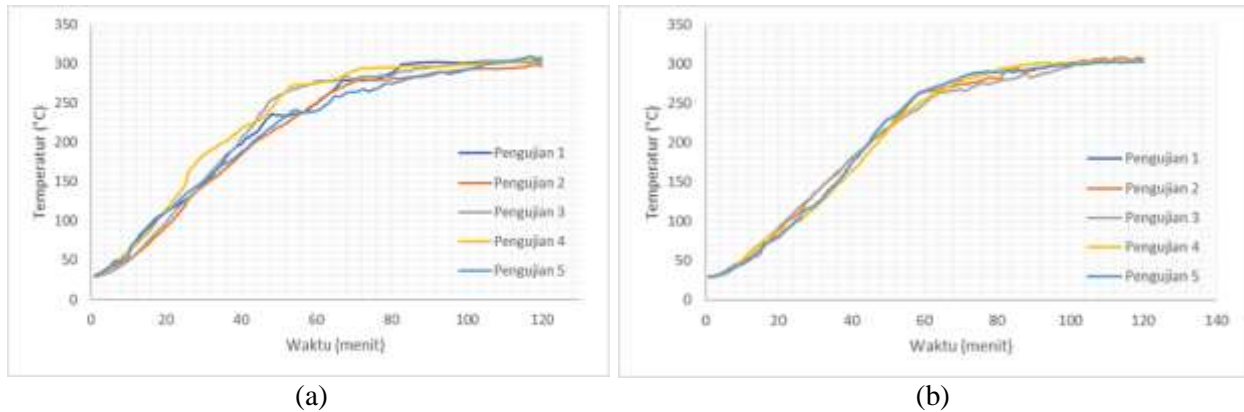
3.2 Pengujian pemanas induksi sebagai pemanas pirolisis

Pelaksanaan eksperimen dilaksanakan dengan pengujian pemanas induksi dan dilakukan hingga lima kali pengulangan secara bertahap menggunakan variasi jumlah lilitan elemen pemanas yang berbeda, yaitu tiga lilitan dan tujuh lilitan. Perbedaan jumlah lilitan dilakukan untuk mengetahui perbedaan laju kenaikan

temperatur dan jumlah daya yang dibutuhkan selama proses pengujian. Pengukuran laju temperatur dilakukan di dua tempat, yaitu di dalam reaktor dan di luar reaktor.

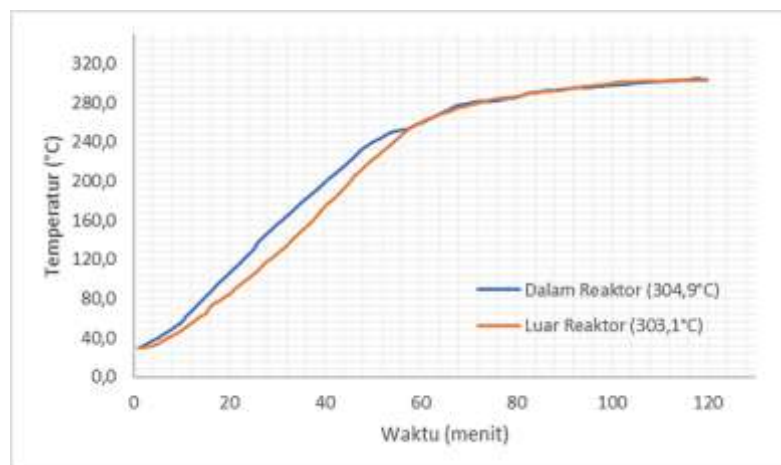
3.2.1 Pengujian pemanas induksi dengan variasi tiga lilitan elemen pemanas

Hasil pengujian pirolisis menggunakan pemanas induksi dengan variasi tiga lilitan elemen pemanas, didapati pada temperatur dalam reaktor mencapai suhu tertinggi sekitar 309,9°C. Sedangkan temperatur di luar reaktor mencapai suhu 305,8°C. Hasil pengujian pemanas induksi dengan variasi tiga lilitan ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Laju kenaikan temperatur (a) Di dalam reaktor, dan (b) Di luar reaktor pada variasi tiga lilitan elemen pemanas

Dari kelima pengulangan pada pengujian pirolisis menggunakan variasi tiga lilitan elemen pemanas, didapatkan nilai rata-rata laju kenaikan temperatur yaitu mencapai suhu 304,9°C untuk di dalam reaktor, dan suhu sekitar 303,1°C untuk di luar reaktor. Hasil pengujian rata-rata pada pemanas induksi dengan variasi 3 lilitan ditampilkan pada **Gambar 4**.

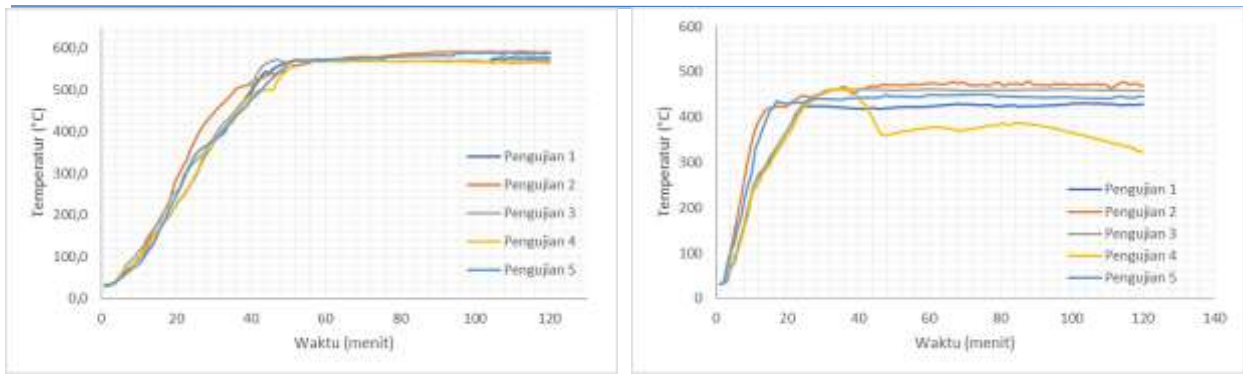


Gambar 4. Laju kenaikan rata-rata temperatur di dalam dan luar reaktor pada variasi tiga lilitan elemen pemanas

Dari hasil pengujian pirolisis menggunakan modul induksi dengan variasi tiga lilitan elemen pemanas menunjukkan bahwa temperatur pengujian pirolisis pada variasi tiga lilitan selama 120 menit tidak mampu mencapai suhu yang diinginkan hingga 500°C, yaitu hanya mampu pada suhu sekitar 300°C.

3.2.2 Pengujian pemanas induksi dengan variasi tujuh lilitan elemen pemanas

Kemudian pada hasil pengujian pirolisis menggunakan pemanas induksi dengan variasi tujuh lilitan elemen pemanas menunjukkan temperatur di dalam reaktor mencapai suhu tertinggi yaitu sekitar 593,6°C. Sedangkan temperatur di luar reaktor menunjukkan suhu mencapai sekitar 478,5°C. Hasil pengujian pemanas induksi dengan variasi tujuh lilitan ditampilkan pada **Gambar 5**.

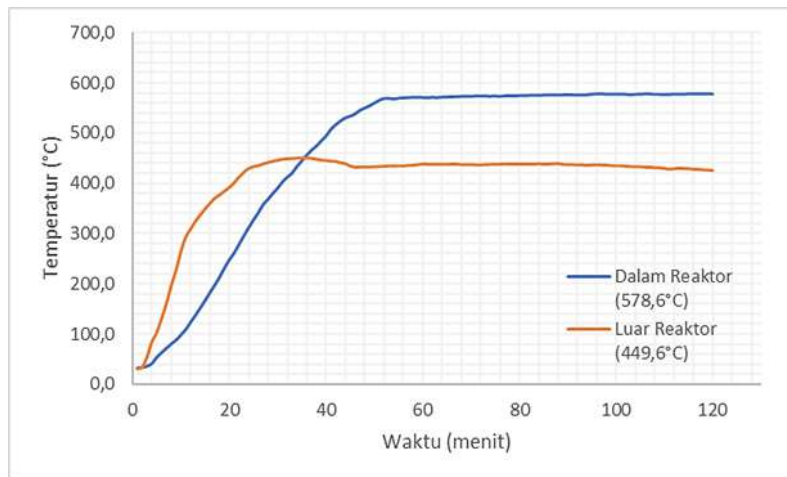


(a)

(b)

Gambar 5. Laju kenaikan temperatur (a) Di dalam reaktor, dan (b) Di luar reaktor pada variasi tujuh lilitan elemen pemanas

Pada pengujian pirolisis menggunakan variasi tujuh lilitan elemen pemanas, menunjukkan nilai rata-rata laju kenaikan temperatur yaitu mencapai suhu 578,6°C untuk di dalam reaktor. Dan suhu sekitar 449,6°C untuk di luar reaktor. Hasil pengujian rata-rata pada pemanas induksi dengan variasi tujuh lilitan ditampilkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Laju kenaikan rata-rata temperatur di dalam dan luar reaktor pada variasi tujuh lilitan elemen pemanas

Dari hasil pengujian pirolisis menggunakan modul induksi dengan variasi lilitan elemen pemanas menunjukkan bahwa laju kenaikan temperatur mencapai suhu yang diinginkan yaitu 500°C hanya dalam waktu sekitar 40 menit.

3.2.3 Data Hasil Konsumsi Energi Listrik dan Laju Kenaikan Temperatur

Analisa konsumsi listrik energi listrik dan analisa laju kenaikan temperatur dibutuhkan untuk mengetahui berapa daya yang dibutuhkan selama proses pengujian. Juga untuk mengetahui temperatur yang dibutuhkan dalam melakukan proses pirolisis pada suatu bahan baku. Data hasil konsumsi listrik energi listrik dan analisa laju kenaikan temperatur ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data konsumsi energi listrik dan laju kenaikan temperatur

No	Nama Alat	Waktu			Daya Listrik		Rupiah	Temperatur			Laju Kenaikkan Temp. (ΔT/Δt) °C / menit	Watt per Derajad (Wh / °C)
		t0	t1	Δt	Kwh	Wh	TDL/B2*	T0	T1	ΔT		
1	Induksi Heater 3 Coil	1	118	117	5	5.000	7.225	29	304,9	275,9	2	18
2	Induksi Heater 7 Coil	1	116	115	8	8.000	11.560	30	578,6	548,6	5	15

Dari **Tabel 1** di atas dapat dilihat bahwa untuk pengujian induksi pemanas menggunakan variasi tiga lilitan elemen pemanas membutuhkan waktu selama t1 = 118 menit dengan temperatur maksimum adalah sebesar T1 = 304,9 °C. Selama proses pirolisis berlangsung dapat dilihat laju kenaikan temperatur adalah 2°C per menit. Sedangkan daya yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur adalah sebesar 18 Wh / °C

dengan total daya 5.000 Wh atau 5 Kwh dan jika dihitung dalam rupiah sebesar Rp. 7.225 berdasarkan TDL PLN tahun 2022 sebesar Rp. 1445/Kwh.

Begitu juga dengan pengujian pemanas induksi menggunakan variasi tujuh lilitan elemen pemanas membutuhkan waktu selama $t_1 = 116$ menit dengan temperatur maksimum adalah sebesar $T_1 = 578,6$ °C. Selama proses pirolisis berlangsung dapat dilihat laju kenaikan temperatur adalah 5°C per menit. Sedangkan daya yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur adalah sebesar 15 Wh / °C dengan total daya 8.000 Wh atau 8 Kwh dan jika dihitung dalam rupiah sebesar Rp. 11.560 berdasarkan TDL PLN tahun 2022 sebesar Rp. 1445/Kwh.

3.3 Produk hasil pirolisis

Produk hasil dari pengujian pirolisis adalah berupa biochart dan bio oil. Dari hasil pengujian untuk pemanas induksi, terlihat hasil dari ukuran bahan baku yaitu sekitar 49.4 gram, yang memperlihatkan bahwa pembakarannya yang sempurna. Sekam padi sebagai bahan baku pengujian ini sudah mengalami perubahan warna menjadi hitam pekat. Produk hasil dari pengujian pirolisis berupa biochart dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Produk biochart hasil pirolisis

Dalam beberapa pengujian yang dilakukan, menghasilkan bio arang yang sempurna pembakarannya begitu juga dengan produk sampingannya bio oil yang pekat kehitaman. Begitu juga pada hasil produk bio oil dari pengujian pirolisis didapatkan sekitar 54,3 ml. Produk berupa bio oil ditampilkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Produk bio oil hasil pirolisis

3.4 Karakteristik Pemanas Induksi

Dalam penelitian yang dilakukan, karakteristik dari proses pengujian pirolisis menggunakan pemanas induksi dengan variasi tiga lilitan dan tujuh lilitan didapatkan selama proses pemanasan pirolisis memiliki tingkat efisiensi energi yang tinggi karena panas dihasilkan langsung terserap pada material logam yang dipanaskan tanpa adanya elemen pemanas lainnya yang memerlukan waktu untuk memanaskan material tersebut. Untuk elemen pemanas pada modul pemanas induksi ini dapat memberikan pemanasan yang merata pada seluruh permukaan material logam yang dipanaskan, sehingga dapat mengurangi risiko overheating pada bagian-bagian permukaan benda atau elemen selain di dalam lilitan elemen pemanas. Lalu dari segi keamanan, pemanas induksi ini dapat bekerja secara auto cut off jika tidak ada benda atau elemen yang terdeteksi secara elektromagnetik.

4. Kesimpulan

Alat pirolisis yang didesain dan direalisasikan dalam bentuk prototipe berukuran panjang 1500 mm, lebar 1000 mm, dan tinggi 1400 mm. Desain dimensi reaktor berukuran diameter 146 mm dan tinggi 755 mm, dimana dimensi ini untuk memenuhi kebutuhan bahan baku 100 gram. Hasil beberapa kali pengujian prototipe alat pirolisis yang menggunakan pemanas induksi dengan tujuh lilitan elemen pemanas menunjukkan bahwa untuk mencapai temperatur dalam reaktor 500°C, membutuhkan waktu rata-rata 40 menit, dimana untuk satu kali proses pengujian membutuhkan daya listrik 8 kWh. Sedangkan pengujian pirolisis menggunakan pemanas induksi tiga lilitan elemen pemanas menunjukkan bahwa temperatur reaktor tidak dapat mencapai target yang diinginkan yaitu suhu 500°C dalam waktu 120 menit, melainkan hanya mencapai suhu 305.6°C hingga waktu 120 menit. Adapun daya listrik yang dibutuhkan untuk satu kali pengujian dengan tiga lilitan elemen pemanas ini adalah sekitar 5 kWh. Dengan demikian berarti semakin banyak lilitan elemen pemanas induksi yang digunakan maka semakin cepat laju kenaikan temperatur pada reaktor dan semakin besar daya listrik yang dibutuhkan.

5. Referensi

- [1] M. Daud, A Hasibuan, W.V. Siregar, Mursalin, R. Fachroji, "Analisis Perhitungan Penggunaan Energi Listrik Sumber DC Pada Rumah Tinggal Tipe 54 Bersumber Energi Terbarukan," 2023, doi: 10.30596/rele.v1i1.13088.
- [2] Tharo, Zuraidah, Hamdani Hamdani, and Melly Andriana. "Pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan angin sebagai sumber alternatif menghadapi krisis energi fosil di sumatera." *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (Semnastek)*. Vol. 2. No. 1. 2019.
- [3] Budiarto, Arif Wahyu. "Rancang Bangun Pemanas Induksi dengan Metode Multiturn Helical Coil." *Journal of Applied Electrical Engineering* 3.1 (2019): 1-4.
- [4] Hasibuan, Arnawan, et al. "Pemanfaatan Energi Bayu Sebagai Sumber Energi Listrik Untuk Penerangan Pada Perahu Nelayan." *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro* 3.2 (2021): 85-88.
- [5] A. Gani, E. Munawar, M. Faisal, M. D. Rozan Arkan, dan M. Reza, "Pengaruh Pemberian Tekanan dan Pemanasan Terhadap Densitas Bahan Bakar (Bio-Coke) Berbasis Biomassa Bonggol Jagung." *Jurnal Serambi Engineering* 8.3 (2023).
- [6] Yokoyama, Shinya. "Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa." *The Japan Institute of Energy* (2008).
- [7] A. Setiawan, F. Muhammad, S. Nurjannah, S. Riskina, Muhammad, dan L. Hakim, "Physical Properties of Biochar Produced from Pyrolysis of Arabica Coffee Pulp: The Effect of Pre-Washing Process," dalam *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics, 2024. doi: 10.1088/1742-6596/2739/1/012001.
- [8] Setiawan, Adi, et al. "Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Bioarang untuk Pembenh Tanah Lahan Pertanian di Desa Pande Kecamatan Tanah Pasir Aceh Utara." *Jurnal Solusi Masyarakat Dikara* 1.1 (2021): 27-31.
- [9] Inayat, Abrar, et al. "Techno-economical evaluation of bio-oil production via biomass fast pyrolysis process: a review." *Frontiers in Energy Research* 9 (2022): 770355.
- [10] M. Kumar, S. Sabbarwal, P. K. Mishra, dan S. N. Upadhyay, "Thermal degradation kinetics of sugarcane leaves (*Saccharum officinarum* L) using thermo-gravimetric and differential scanning calorimetric studies," *Bioresour Technol*, vol. 279, hlm. 262–270, Mei 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2019.01.137.
- [11] Restanti, Rr Bella Alda, and Mohamad Mirwan. "Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Alternatif dengan Metode Pirolisis." *Jurnal Serambi Engineering* 8.4 (2023).

- [12] P. Jutakradsada, R. Sriprasoed, N. Patikarnmonthon, dan K. Kamwilaisak, "Comparison Study of Sugarcane Leaves and Corn Stover as a Potential Energy Source in Pyrolysis Process," dalam *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, Nov 2016, hlm. 26–29. doi: 10.1016/j.egypro.2016.10.142.
- [13] Harahap, Ardiansyah, Adi Sucipto, and Jupriyadi Jupriyadi. "Pemanfaatan Augmented Reality (Ar) Pada Media Pembelajaran Pengenalan Komponen Elektronika Berbasis Android." *Jurnal Ilmiah Infrastruktur Teknologi Informasi* 1.1 (2020): 20-25
- [14] Wahid, Mazlan Abdul, et al., eds. *Advances in Heat Transfer, Flow Engineering and Energy Installations*. Trans Tech Publications Ltd, 2016.
- [15] Moran, Michael J., et al. *Fundamentals of engineering thermodynamics*. John Wiley & Sons, 2010.