

Rancang Bangun Reaktor Pirolisis Batang Tembakau Kapasitas 25-65 Kg

Sirodz M. P. N¹, N. Nugraha¹, P. Simbolon², Salsa N. R²

¹Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung

²Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung

Email : pramudasirodz@itenas.ac.id, novianti@itenas.ac.id, simbolontua1811@gmail.com

Received 25 April 2024 | Revised 2 Mei 2024 | Accepted 10 Mei 2024

ABSTRAK

Batang tembakau merupakan salah satu bagian pada tanaman tembakau yang dianggap sebagai limbah pertanian. Limbah batang tembakau dapat dimanfaatkan menjadi pestisida dengan cara pirolisis. Pirolisis batang tembakau merupakan salah satu proses penguraian biomassa yang dilakukan pada ruang tertutup tanpa adanya udara masuk ke dalam dengan memanfaatkan panas berasal dari api. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat reaktor pirolisis untuk memperoleh asap cair dari batang tembakau yang dapat digunakan sebagai pestisida. Perancangan dan pembuatan reaktor pirolisis untuk kapasitas batang tembakau cacahan sebanyak 25-65 kg, target temperatur pirolisis sekitar 350°C. Komponen reaktor yang dirancang dan dibuat meliputi tungku reaktor, tangki dan tutup reaktor, sedangkan burner dan dudukan nya menggunakan yang sudah tersedia di pasaran. Pengujian dilakukan untuk memperoleh hasil pirolisis dan temperatur pirolisis. Hasil perancangan dan pembuatan, tinggi tungku reaktor 1200 mm, diameter tungku 700 mm, diameter tutup reaktor 700 mm. Hasil Pengujian, temperatur pirolisis maksimum 224,8°C.

Kata Kunci: Batang Tembakau, Reaktor Pirolisis, Asap cair, Pestisida, Pirolisis

ABSTRACT

Tobacco stem is one part of the tobacco plant which is considered as agricultural waste. Tobacco stem waste can be used as a pesticide by means of pyrolysis. Pyrolysis of tobacco stems is a biomass decomposition process that is carried out in a closed space without air entering it by utilizing heat from fire. The aim of this research is to design and build a pyrolysis reactor to obtain liquid smoke from tobacco stems which can be used as a pesticide. Design and fabrication of a pyrolysis reactor for a capacity of 25-65 kg chopped tobacco stems, the target pyrolysis temperature is around 350°C. The reactor components designed and manufactured include the reactor furnace, tank and reactor lid, while the burner and holder are available on the market. Tests were carried out to obtain pyrolysis results and pyrolysis temperatures. The results of the design and manufacture, the height of the reactor furnace is 1200 mm, the diameter of the furnace is 700 mm, the diameter of the reactor lid is 700 mm. Test results, maximum pyrolysis temperature 224.8°C.

Keywords: Tobacco Sticks, Pyrolysis Reactor, Liquid Smoke, Pesticides, Pyrolysis

1. PENDAHULUAN

Batang tembakau merupakan bagian dari tumbuhan tembakau yang dijadikan limbah, limbah batang tembakau merupakan sumber yang dapat dijadikan biomassa [1],[2]. Batang tembakau mempunyai potensi dan efektif sebagai pembasmi hama pada tumbuhan atau pestisida [2],[3]. Limbah Batang tembakau mengandung berbagai senyawa yang dapat dijadikan sebagai pestisida, yaitu Nikotin, Saponin, Flavonoid, Piridin. Nikotin mengandung racun yang tinggi yang dapat digunakan sebagai biopestisida [3]-[5]. Saponin merupakan senyawa aktif permukaan glikosida triterpenoid ataupun glukosa steroid. Senyawa ini memiliki rasa pahit dan bersifat racun. Flavonoid merupakan salah satu senyawa fenolik yang terdapat pada jaringan tumbuhan dan berperan sebagai antioksidan. senyawa ini dapat dimanfaatkan sebagai biopestisida. Piridin merupakan senyawa yang tidak berwarna dan tidak memiliki bau yang tajam. Zat ini dimanfaatkan untuk mengubah sifat alkohol sebagai pelarut dan pembunuh hama [5]-[7]. Proses mengubah batang tembakau menjadi pestisida dapat dilakukan dengan proses pirolisis dengan alat pendukung reaktor, pirolisis dilakukan pada ruang tertutup tanpa adanya udara masuk ke dalam dengan memanfaatkan panas berasal dari api. Gambar 1 memperlihatkan batang tembakau yang biasanya dijadikan limbah.



Gambar 1. Batang Tembakau

Reaktor merupakan suatu alat atau wadah seperti berbentuk tabung, digunakan sebagai tempat terjadinya suatu reaksi, baik reaksi kimia maupun reaksi nuklir dan tidak terjadi secara fisika. Akibat terjadi reaksi pada reaktor ini akan membuat suatu bahan dapat berubah bentuk satu ke bentuk lainnya, dalam hal tersebut perubahan dapat terjadi dengan sendirinya maupun dengan bantuan energi seperti panas yang disalurkan [8].

Proses pirolisis adalah pemanasan bahan baku dihasilkan melalui energi panas. Pada energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon kompleks terurai sebagian menjadi karbon atau arang [8],[9]. Pirolisis yang dilakukan pada ruang tertutup dan tanpa ada oksigen yang masuk akan menghasilkan beberapa produk pirolisis di akhir prosesnya yakni *tar*, *char* (arang) dan gas [10]-[12].

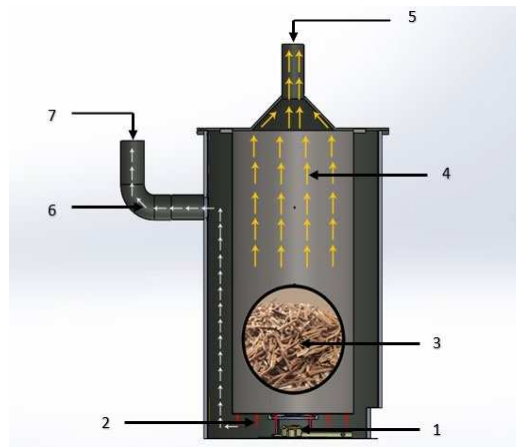
Pada penelitian ini akan memanfaatkan limbah tembakau menjadi pestisida alami untuk pembasmi hama tanaman yang diperoleh dengan cara pirolisis. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat reaktor pirolisis yang berbahan baku batang tembakau kapasitas 25-65 kg.

2. METODOLOGI

2.1 Prinsip Kerja Reaktor

Batang tembakau dimasukan kedalam tangki reaktor, proses pembakaran berlangsung dimulai dari bagian dasar tangki reaktor menggunakan *burner* gas, panas akan merambat ke dinding tangki reaktor lalu mulai memanaskan batang tembakau hingga temperatur pirolisis. Batang tembakau akan menghasilkan asap cair

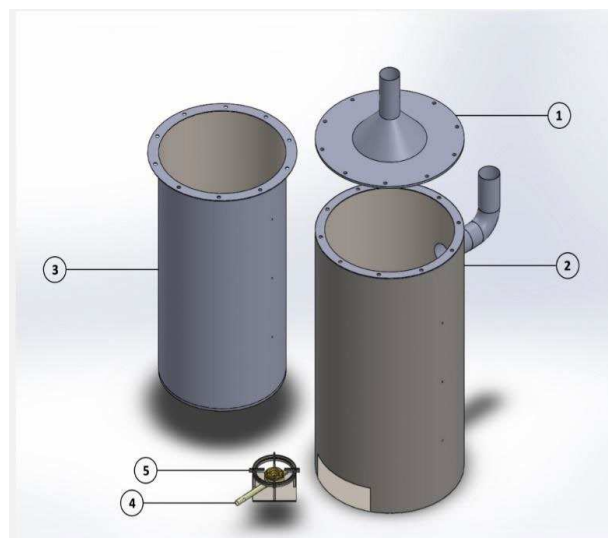
yang mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa, serta senyawa karbon lainnya, lalu asap cair itu akan bergerak ke atas menuju katup pada tutup reaktor. Dari *burner* gas menghasilkan asap yang dikeluarkan lewat cerobong asap di bagian belakang reaktor. Skema proses pirolisis batang tembakau di dalam reaktor, diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Pirolisis Batang Tembakau

Keterangan dari Gambar 2 diatas : 1. Burner, 2. Api dari burner, 3 Batang tembakau, 4. Asap cair hasil pirolisis, 5 Lubang keluaran asap cair, 6. Asap sisa hasil pembakaran, 7. Keluaran asap sisa hasil pembakaran.

Jenis reaktor yang dirancang yaitu reaktor tipe *batch* karena pengoperasiannya tidak secara kontinu, reaktor yang dirancang memiliki tiga bagian utama diantaranya tutup reaktor, tabung reaktor, dan tungku reaktor sedangkan burner dan dudukan nya membeli yang sudah tersedia di pasaran [13].

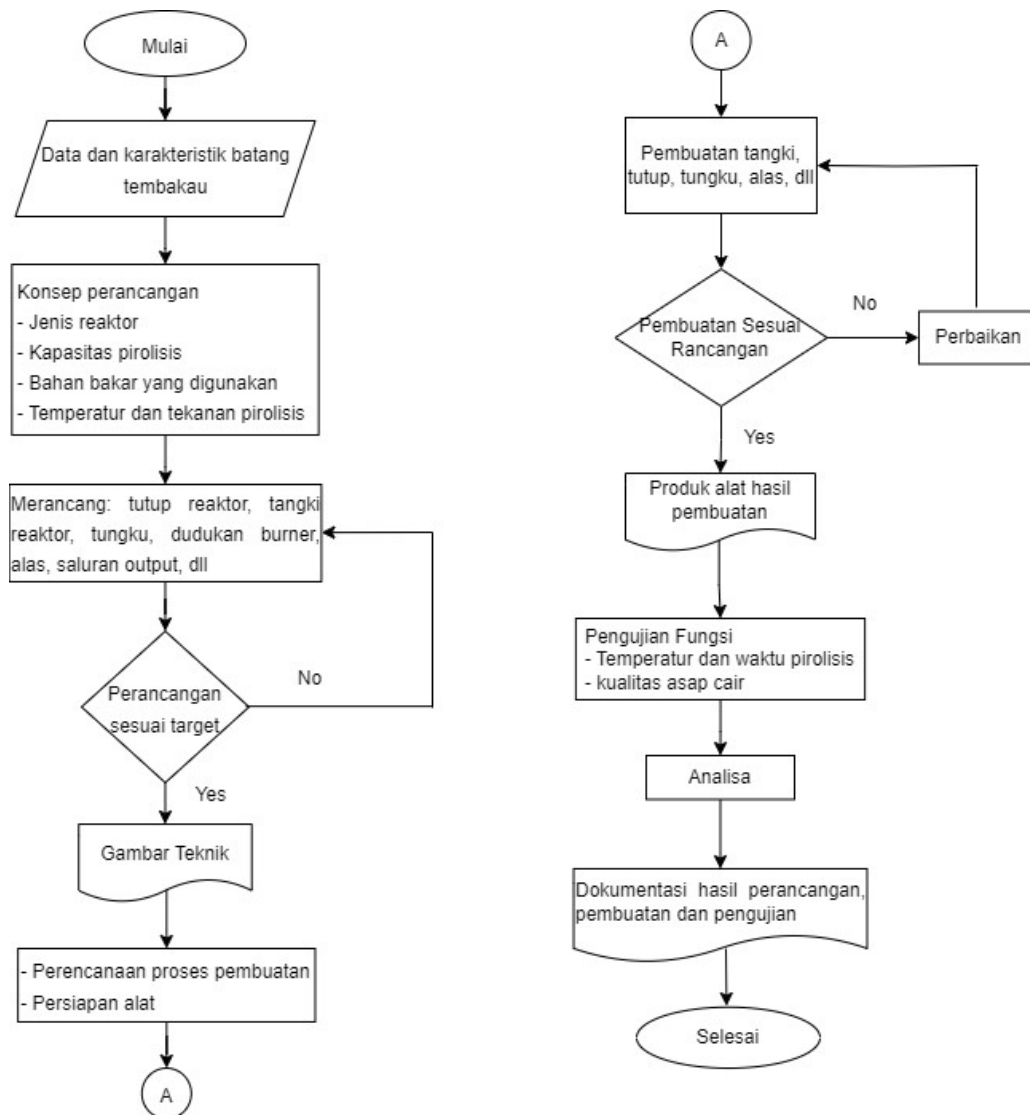


Gambar 3. Komponen Reaktor Pirolisis

Keterangan dari gambar 3 diatas adalah : 1. Tutup reactor, 2. Tungku reactor, 3. Tangki reaktor, 4. Dudukan burner, 5. Burner

Metodologi penelitian ini dimulai dari merancang reaktor yang memerlukan data serta karakteristik batang tembakau yang akan di proses pirolisis. Perancangan dimulai dari menentukan tipe reaktor yang akan

dirancang, menentukan konsep perancangan, menentukan kapasitas perancangan, temperatur pirolisis, menentukan bahan yang digunakan serta merancang dimensi reaktor yang meliputi tutup, tangki reaktor, tungku reaktor, kedudukan burner dll. Setelah diperoleh gambar rancangan kemudian dilakukan proses pembuatan dan pengujian fungsi reaktor. Parameter pengujian meliputi temperatur dan waktu pirolisis serta kualitas asap cair yang dihasilkan. Flowchart metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Penelitian

Data dari batang tembakau yang diperlukan untuk perancangan diantaranya adalah densitas antara 260-350 kg/m³ yang merupakan densitas dari lignoselulosa yang merupakan komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan yang banyak ditemukan pada batang kayu [14]. Hal ini menunjukkan bahwa batang tembakau memiliki densitas yang rendah dibandingkan dengan densitas pada batang kayu dari spesies kayu keras yang daunnya lebar yang memiliki anatomi dan komposisi kimia yang serupa dengan batang tembaka. Sifat tembakau lainnya yaitu difusifitas termal. Nilai difusivitas termal pada batang tembakau dengan kelembaban 94% dengan rata-rata temperatur uap 30°C didapat sebesar $1,38 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ [14].

Dari kapasitas 25-65 kg diperoleh dimensi tabung reaktor dengan tinggi 1,11 m dan diameter 0,3-0,5 m. Berdasarkan persamaan 1

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \text{Volume Silinder Reaktor}}{\pi}} \quad (1)$$

Temperatur pirolisis perancangan diasumsikan 450°C berdasarkan studi literatur dari berbagai penelitian bahwa temperatur pirolisis berkisar antara 200-500°C [15],[16]. Bahan material yang dipilih adalah *alloy steel*, selain dapat tahan pada temperatur pengujian pirolisis, *alloy steel* juga memiliki sifat mudah dilas, dan juga terdapat banyak dipasaran.

Batang tembakau dipanaskan selama 6 jam, diharapkan dengan memanaskan selama 6 jam, batang tembakau telah terpirolisis menjadi asap cair yang tidak mengandung banyak uap air, berdasarkan penelitian pemanasan pirolisis diatas 4 jam sudah tidak mengandung uap air yang tinggi [17]. Kalor yang dibutuhkan dicari menggunakan persamaan 2 [14].

$$Q_{\text{batang tembakau}} = M_{\text{batang tembakau}} \cdot C_{p\text{batang tembakau}} \cdot \left(\frac{\Delta T_{\text{batang tembakau}}}{t} \right) \quad (2)$$

Dimana :

$Q_{\text{batang tembakau}}$	= Kalor yang dibutuhkan untuk proses pirolisis batang tembakau (W)
$M_{\text{batang tembakau}}$	= Massa batang tembakau (Kg)
$C_{p\text{batang tembakau}}$	= Panas Spesifik batang tembakau $\left(\frac{J}{kg.K} \right)$
$\Delta T_{\text{batang tembakau}}$	= Selisih temperatur awal dengan temperatur pirolisis tembakau (K)
t	= Waktu pembakaran (s)

C_p batang tembakau pada buku *Fundamental Heat & Transfer edisi ke 7* oleh Frank P. Incropera pada tabel A.3 diasumsikan sama dengan *hard wood (shredded)* yaitu $1590 \frac{J}{kg.K}$

Waktu pembakaran batang tembakau ditinjau setiap 1 jam atau 3600 detik selama 6 jam proses pirolisis.

Selain menghitung kalor yang digunakan untuk memanaskan batang tembakau yaitu 4637,5 W, juga dihitung kalor untuk memanaskan udara dalam ruang bakar, serta kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan tabung pirolisis, dengan persamaan yang sama seperti persamaan 2. Diperoleh kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan udara di dalam tangki sebesar 425,37 W dan kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan material tangki pirolisis sebesar 2673,67 W.

Maka kalor total yang dibutuhkan untuk proses pirolisis selama 1 jam adalah kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan batang tembakau ditambah kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan udara di dalam tabung pirolisis ditambah kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan material tangki pirolisis

$$Q_{\text{total}} = 4637,5 \text{ W} + 425,37 \text{ W} + 2673,67 \text{ W}$$

$$Q_{\text{total}} = 7736,54 \text{ W}$$

Kerugian termal dapat terjadi pada rancangan reaktor diperoleh dari Hukum Fourier persamaan 3 [14].

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = \frac{kA}{L} (T_{s,1} - T_{s,2}), \quad q''_x = \frac{q_x}{A} = \frac{k}{L} (T_{s,1} - T_{s,2}) \quad (3)$$

Menghitung laju aliran bahan bakar menggunakan persamaan 4 [14].

$$\dot{m} = \frac{Q_{total}}{LHV} \quad (4)$$

Nilai kalor tabung LPG atau LHV bahan bakar adalah adalah $11254,61 \frac{Kcal}{Kg} \approx 47089,29 \frac{KJ}{Kg}$, maka laju aliran massa bahan bakar yang dibutuhkan adalah

$$\dot{m} = \frac{7,74 \frac{kJ}{s}}{47089,29 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m} = 1,54 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

Jadi untuk melakukan sekali proses pirolisis pada rancangan reaktor asap cair batang tembakau ini membutuhkan bahan bakar gas LPG dengan laju aliran sebesar $1,54 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$ selama kurun waktu $\pm 6 jam$ hingga memperoleh hasil pirolisis yang diinginkan yaitu asap cair dengan massa bahan bakar yang digunakan sebesar 3,3 kg. Dari hasil perancangan secara keseluruhan diperoleh dimensi reaktor serta massa bahan bakar yang dibutuhkan. Setelah proses perancangan selesai, dilanjutkan dengan proses pembuatan reaktor.

2.2 Pembuatan Reaktor

Pada tutup reaktor pirolisis tutup terdapat beberapa aksesoris yang dipasang yakni berupa dua saluran keluar asap pirolisis yang menyatu dengan katup, kemudian terdapat pipa untuk keluarnya kabel termokopel yang akan tersambung dengan indikator termokopel seperti pada gambar 5. Pada tutup terdapat lubang baut sebanyak 15 buah [18].



Gambar 5. Tutup Reaktor

Tungku reaktor yang telah dibuat terdapat cerobong asap yang terpasang yang menggunakan pipa elbow yang terpasang pada dinding tungku atas seperti pada gambar 6. Posisi cerobong asap yang terpasang tidak lurus secara vertikal ke atas. Selain itu tungku dipasang flens yang terdapat beberapa buah [18].



Gambar 6. Tungku Reaktor

Tangki reaktor yang dibuat memiliki alas seperti pada gambar 7. Pada bagian dalam reaktor dipasangkan besi untukudukan sensor termokopel untuk mengukur temperatur reaktor.



Gambar 7. Tangki Reaktor

Insulator dari bahan glasswool dan alumunium foil seperti pada gambar 8 yang dipasang pada dinding reaktor paling luar secara melingkar hingga mencapai tinggi dari tungku tersebut dengan ketebalan sesuai perancangan yaitu 250mm [18].



Gambar 8. Insulator

Bagian – bagian reaktor yang telah dibuat dirakit menjadi seperti dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Komponen Pembuatan Reaktor Pirolisis

Keterangan Gambar: 1. Tutup Reaktor, 2. Tangki, 3. Tungku Reaktor, 4. *Thermocouple* 1, 5. *Thermocouple* 2, 6. *Thermocouple* 3, 7. Insulator, 8. Burner, 9. *OutPut* asap pembakaran

2.3 Spesifikasi Reaktor Pirolisis

Spesifikasi reaktor yang telah dirancang dan dibuat diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Rancangan Reaktor Pirolisis

Komponen	Dimensi
Tangki	Diameter: 610 mm, Tinggi: 1100, Material: Mild Steel plate
Tungku	Diameter: 700 mm, Tinggi: 1200 mm, Material: <i>Mild</i>
Tutup Reaktor	Diameter Tutup: 700 mm, Tebal: 2 mm, Material: <i>Mild steel Plate</i>
Kerucut Tutup	Diameter: 350 mm, Tinggi: 137 mm, Material <i>mild Steel plate</i>
Cerobong Asap	Elbow 90: Diameter: 890 mm, Tebal: 1,5 mm
	Lurus : Diameter: 890 mm, Panjang: 400 mm, Tebal: 1,5 mm
Insulator Reaktor	Bahan: Glasswool dan Aluminium Foil, Tebal: 250 mm, Panjang: 800 mm, Lebar: 600 mm
Pipa Asap Cair	Diameter: 950 mm, Panjang: 200 mm
Dudukan Burner	Panjang: 350 mm, Tinggi: 120 mm

2.4 Pengujian

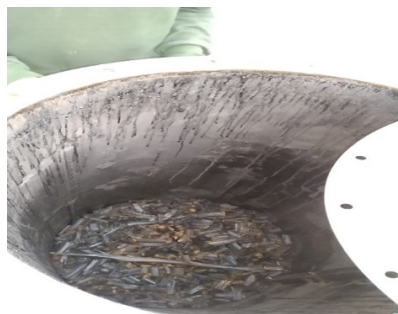
Pengujian dilakukan untuk menguji fungsi dari reaktor yang telah dirancang dan dibuat sebelumnya. Parameter pengujian yaitu mencari temperatur pirolisis atau temperatur reaktor saat menghasilkan asam cair, serta menganalisis asap cair yang dihasilkan. Batang tembakau yang diuji menggunakan kapasitas minimal yaitu sebanyak 25 kg. sebelum dimasukan ke dalam reaktor batang tembakau dipotong-potong dengan panjang 5-8 cm. Pengujian reaktor pirolisis dilakukan selama 6 jam dengan pengecekan temperatur dilakukan setiap 30 menit, dicatat data temperatur dan asap cair yang dihasilkan. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

1. Mencacah batang tembakau dengan ukuran 5 – 8 cm sebelum ke dalam reaktor.
2. Menyiapkan peralatan seperti reaktor, burner, tutup dan lainnya serta sensor alat ukur.
3. Masukkan batang tembakau yang sudah dicacah ke dalam reaktor melalui bagian atas reaktor dengan keadaan terbuka, kemudian menutup reaktor.
4. Menyalakan api pada burner, lalu atur katup pada regulator yang terpasang pada gas.
5. Melakukan pembakaran pirolisis untuk pengujian reaktor selama 6 jam.
6. Pada saat pengujian mencatat data temperatur setiap 30 menit sekali dan mengambil sampel hasil pirolisis.
7. Setelah pengujian selesai mematikan burner dan membuka tutup reaktor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Produk sisa dari pengujian

Produk yang dihasilkan dari pengujian reaktor selama pirolisis yang dilakukan selama 6 jam menghasilkan sisa produk akhir yaitu tembakau berubah menjadi arang, seperti yang terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Produk sisa pengujian

3.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian pirolisis batang tembakau sebanyak 25 kg selama 6 jam diperlihatkan pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian

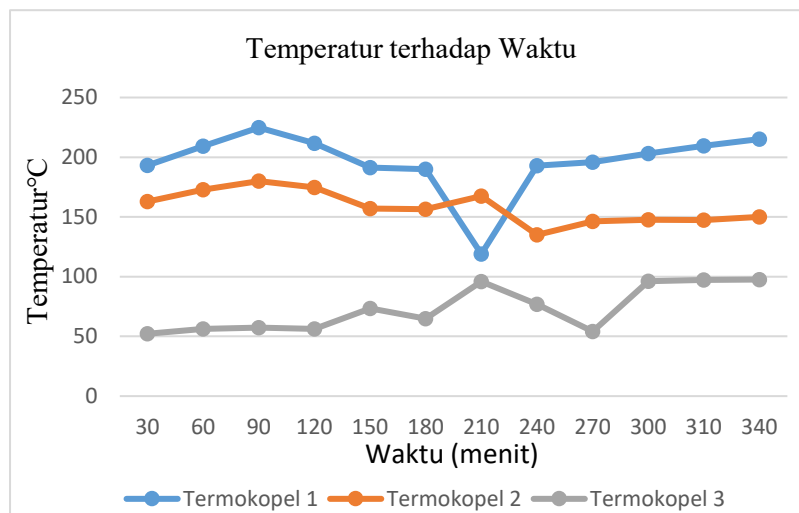
Waktu (menit)	Temp °C	Hasil	Warna Asap Cair	Waktu (menit)	Temp °C	Hasil	Warna Asap Cair
60	209,4	Putih keemasan		180	189,9	coklat	
90	224,8	Coklat Kehijauan		300	203	Coklat kehitaman	
150	191,4	Coklat Kehijauan		360	215,1	Coklat kehitaman	

Dari hasil pengujian terlihat bahwa reaktor sudah bisa menghasilkan asap yang mengandung cairan pada temperatur 193,3°C, namun berdasarkan literatur, pemanasan pada temperatur dibawah 200°C masih mengandung banyak uap air sedangkan asap cair yang mengandung bio-oil hasil pirolisis masih sedikit dihasilkan [17],[19]. Temperatur maksimum di dalam reaktor 224,8°C. Hasil dari pengamatan yang dilakukan setiap 30 menit sekali, bio-oil yang dihasilkan mengalami perbedaan warna setiap 1 jam sekali dari 6 jam proses pirolisis.

Pada warna bio-oil gelap yang ada pada Gambar 11, hal ini disebabkan oleh disebabkan oleh char atau arang yang tercampur pada bio-oil. Pada penelitian berikutnya akan dilakukan analisa terhadap asap cair yang dihasilkan, persentase kandungan uap air serta komposisi unsur kimia yang terkandung didalam asap cair yang dihasilkan.

**Gambar 11. Pirolisis Tar Batang Tembakau**

3.3 Grafik Temperatur Terhadap Waktu



Gambar 12. Grafik Temperatur Terhadap Waktu

Gambar 12 memperlihatkan grafik temperatur terhadap waktu. Temperatur di saluran keluaran asap cair cenderung naik antara 50-100°C. Temperatur yang ditunjukkan oleh termokopel 1 yaitu yang ditempatkan pada jarak 30cm dari dasar reaktor menunjukan kisaran 200°C, dan temperatur yang ditempatkan pada 60cm. Penurunan dan kenaikan temperatur cenderung tidak signifikan selama waktu pirolisis adapun terdapat data temperatur yang terlihat tidak stabil yaitu pada menit ke 210 terjadi karena pada saat pengujian, api burner dipengaruhi kecepatan udara dari luar.

Masih terdapat kebocoran pada tutup reaktor sehingga temperatur maksimum yang diperoleh belum sesuai target perancangan. Rata-rata temperatur pada ruang reaktor dimana sensor temokopel diletakan 30 cm dari dasar reaktor adalah 196,3°C, pada ketinggian 60 cm dari dasar reaktor adalah 160,6°C dan rata-rata temp pada saluran keluaran adalah 73,2°C.

4. KESIMPULAN

Perancangan dan pembuatan reaktor pirolisis batang tembakau telah berhasil dilakukan menghasilkan reaktor yang menggunakan bahan mild steel plate dapat menghasilkan beberapa komponen dari spesifikasi rancangan reaktor pirolisis seperti tungku reaktor dengan panjang 1200 mm diameter 700mm terdapat Flens diameter 790 mm, reaktor yang memiliki panjang 1120 mm diameter 500 mm dengan Flens reaktor 600 mm dan tutup reaktor yang memiliki bagian atas berbentuk kerucut dengan diameter tutup 790 mm yang dilengkapi oleh *flens* yang di lubang baut sebanyak 15 buah. Kalor total yang dibutuhkan 7736,54 Watt dengan bahan bakar yang dibutuhkan 3,3 kg gas LPG selama 6 Jam.

Alat ini berhasil menghasilkan asap cair dari batang tembakau dengan temperatur reaktor maksimum 224,8 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hadi, P. U. (2011). Case Study on Tobacco Cultivation and Alternate Crops in Indonesia. Final Report. *A Collaborative Research between ICASEPS and WHO*
- [2] Liu Y, D. J. (2015). Co Digestion of Tobacco Waste With Different Agricultural Biomass FeedStock and the inhibition of Tobacco Viruses by Anaerobic Digestion. *Bioresource Technology*, 189,210-216.
- [3] Martosupono, M. L. (2008). Potensi Tembakau sebagai Sumber Pangan, Farmasi dan Energi, Eksplanasi. *Media Komunikasi Ilmiah Kopertis Wilayah VI*. Volume 3.No5 5Aswatini, N. M. (2008).
- [4] Baehaki. (1993). *Insektisida Pengendalian Hama tanaman*. Depok: Universitas Indonesia.
- [5] Harborne. (1987). *Metode Fitokimia*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- [6] R, A. (2010). Flavonoid: Struktur,Sifat Antioksidatif dan Perannya dalam Sistem Biologis. *Jurnal Belian*, 196-202.
- [7] Diputro, G. (201). *Bahaya Tembakau dan Bentuk Sendiaan Tembakau*. Bandung: Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran.
- [8] Duderstadt, J. H. (1976). *Nuclear Reactors Analysis*. Michigan: University of Michigan.
- [9] Hidayatullah, A. S. (2015). Design and Technology Development for Small Modular Reactors Safety Expectation Prospects and Impediments of Their Deployment. *Nuclear Energy*, 127-135.
- [10] Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering*. Oregon: Oregon the University.
- [11] Mille Dp., B. M. (2010). Possibilities Utilization of Tobacco Steam for Production of Energy Briquet Test. *Journal of Agricultural Science*, 45-54.
- [12] Ridhuan K., I. D. (2019). Optimasi Pembakaran Menyeluruh Pada Reaktor Pirolisis dalam Menghasilkan Bio Arang dan Asap Cair. *Jurnal Turbo*.
- [13] Tegar Alif Muharram. (2023). Perancangan Reaktor Untuk Menghasilkan Asap Cair Batang Tembakau Untuk Biopestisida. Tugas Akhir Sarjana. Bandung: Institut Teknologi nasional Bandung.
- [14] Incropera. (2006). *Fundamental Heat and Transfer*. Notredame: University of Notredame
- [15] Li, R. Z. (2012). Selection of temperature for bio-oil production from pyrolysis of algae from lake blooms. *Energy & fuels*, 26(5), 2996- 3002
- [16] Suryo Purwono, dkk. (2010). *Pengaruh Ekstraksi Solven Pada Kualitas Briket Dari Limbah Batang Daun Tembakau*. Prosiding Seminar nasional fakultas teknik UR. Pekanbaru.
- [17] Rosdaneli Hasibuan, Hans Martua Pardede. (2023). Pengaruh Suhu Dan Waktu Pirolisis Terhadap Karakteristik Arang Dari Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol 12 no 1 Hal 46-53.
- [18] Polius Simbolon (2023). Pembuatan dan pengujian Fungsi Reaktor Pirolisis Batang Tembakau. Tugas Akhir Sarjana. Bandung: Institut Teknologi nasional Bandung.
- [19] Ratnawati, d. (2010). Pengaruh Suhu Pirolisis Cangkang Sawit Terhadap Kualitas dan Kuantitas Asap Cair. *Institut Teknologi Indonesia*.