

# RANCANG BANGUN PERANGKAT EKSPERIMENTASI PROSES PIROLISIS BIOMASA GELOMBANG MIKRO

<sup>1</sup>N. Fachrizal, <sup>2</sup>R. Mustafa, <sup>3</sup>M. Pramudji

B2TE BPPT, Kawasan Puspiptek Gd. 620, Tangerang Selatan

E-mail: n.fachri.z@gmail.com, rivai\_b2te@yahoo.com, mastur321@yahoo.com

## Abstracts

*Biomass such as agriculture waste and urban waste are enormous potency as energy resources instead of environmental problem. Organic waste can be converted into energy in the form of liquid fuel, solid, and syngas by using of pyrolysis technique. Pyrolysis process can yield higher liquid form when the process can be drifted into fast and flash response. It can be solved by using microwave heating method. This research is started from developing an experimentation laboratory apparatus of microwave-assisted pyrolysis of biomass energy conversion system, and conducting preliminary experiments for gaining the proof that this method can be established for driving the process properly and safely. Modifying commercial oven into laboratory apparatus has been done, it works safely, and initial experiments have been carried out, process yields bio-oil and charcoal shortly, several parameters are achieved. Some further experiments are still needed for more detail parameters. The results may be used to design small-scale continuous model of production system, which then can be developed into large-scale model that applicable for commercial use.*

**Kata kunci** : pirolisis cepat, biomasa, gelombang mikro, bio-oil.

## 1. PENDAHULUAN

Biomasa seperti serpihan kayu dan sisa proses produk pertanian dan perkebunan merupakan sumber energi yang tertua di dunia. Indonesia memiliki ketersediaan sisa pertanian dalam jumlah berlimpah, seperti sekam padi, ampas tebu, cangkang dan tandan kosong sawit, serbuk kayu, sabut dan cangkang kelapa. Selain itu, sampah organik dari pemukiman merupakan potensi besar lainnya yang juga amat melimpah. Dari data Kementerian Negara Lingkungan Hidup, sepanjang tahun 2008 produksi sampah di Indonesia mencapai 167 ribu ton perhari [Radar Sulteng, 2009]. Volume timbulan sampah di DKI Jakarta adalah 29.676,24 M<sup>3</sup> atau 6.594,72 ton/hari, dengan komposisi sumber sampah berasal dari industri 8,97%, perkantoran 27,35%, sekolah 5,32%, pasar 4%, pemukiman 52,97%, lainnya 1,4%. [R.Y. Nasir, 2010]

Kian tahun kebutuhan energi akan terus meningkat sehingga dibutuhkan penyediaan energi yang memadai pula, sementara produksi BBM nasional menurun. Pada sisi lain, jumlah produksi sampah yang sangat besar dapat menimbulkan masalah pada lingkungan jika tidak dikelola dengan baik, padahal merupakan potensi

bahan baku yang besar pula jika bisa dikonversi menjadi energi. Salah satu metode konversi bahan organik menjadi energi adalah metode pirolisis. Proses pirolisis sudah cukup lama dikenal, dan sering digunakan untuk mengurai suatu bahan dalam laboratorium kimia dan biokimia. Proses pirolisis juga terjadi dalam reaktor gasifikasi maupun pada proses karbonisasi.

Metode pirolisis dapat mengkonversi bahan organik menjadi energi dalam bentuk cair (*bio-oil*), padat (arang) dan gas (*syngas*) dalam satu proses. Semakin cepat dan semakin tinggi temperatur proses, jumlah produk cair akan bertambah. Dhipotesiskan, dengan memanfaatkan teknologi gelombang mikro (*microwave*), proses pirolisis ini dapat didorong menjadi proses pirolisis cepat dan sangat cepat (*fast and flash*), agar menghasilkan produk cair dalam jumlah yang signifikan dan cepat.

Tulisan ini menyajikan rancang bangun perangkat percobaan laboratorium proses pirolisis cepat dan hasil eksperimentasi awal yang dihasilkan. Rancang bangun ini memanfaatkan oven gelombang mikro domestik yang dimodifikasi untuk keperluan percobaan laboratorium proses pirolisis biomasa, dengan

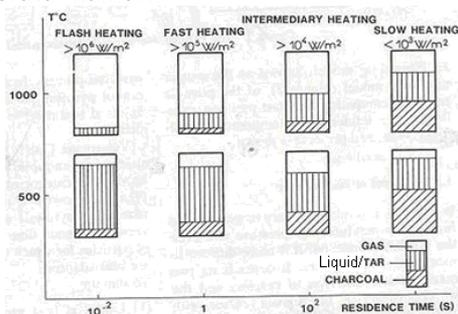
memperhatikan segala aspek dan sifat gelombang mikro dalam proses pemanasan, faktor keselamatan dan keamanan, sertaantisipasi efek pemanasan yang dibutuhkan terhadap oven tersebut.

Rancang bangun dan percobaan awal ini lebih difokuskan pada pembuktian hipotesis bahwa dengan gelombang mikro proses dapat dijalankan lebih cepat, oven rumah tangga ini dapat dimodifikasi dan dapat digunakan sebagai alat percobaan laboratorium, serta untuk mempelajari lebih jauh sifat-sifat gelombang mikro dan oven gelombang mikro serta faktor keamanan yang dibutuhkan dalam perancangan reaktor gelombang mikro. Diharapkan perangkat laboratorium ini akan digunakan sebagai fasilitas untuk meneliti, mengkaji dan mengembangkan sistem konversi energi dari biomasa dan sampah organik untuk mendapatkan desain konfigurasi sistem kontinyu dan parameter proses yang optimal yang dapat diterapkan untuk skala produksi, untuk ikut berkontribusi mengatasi masalah penyediaan energi serta mengatasi masalah lingkungan.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1 Proses Pirolisis Cepat dengan gelombang mikro

Bahan organik umumnya terbentuk oleh tiga komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignit. Secara ilmiah, pirolisis adalah proses dekomposisi termal bahan organik pada temperatur sekitar 350-550°C, tanpa oksigen. Proses ini melepas 3 jenis produk, yaitu padat (arang), cair (*oxygenated oil* dan *organic acid*), dan gas (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan CH<sub>4</sub>) [P.H. Heyerdahl, 2006]. Rasio produk ini dipengaruhi oleh komposisi kimia bahan biomasa dan kondisi operasional proses. Semakin cepat dan tinggi temperatur operasi makin banyak produk cair dihasilkan [Sanjay Mande, 2009]. Gas dan uap yang dihasilkan dikondensasi untuk memisahkan materi yang berbentuk gas dan cair pada temperatur kamar.



Gambar 1. Efek temperatur pada proses pirolisis [Sanjay Mande, 2009]

Pirolisis cepat (*fast and flash pyrolysis*) merupakan salah satu proses yang relatif baru dalam menghasilkan energi terbarukan. Dibandingkan dengan pembakaran dan gasifikasi serta karbonisasi, yang juga merupakan proses pirolisis (lambat) yang telah dipraktekkan secara luas dan komersial, pirolisis biomasa ini masih berada dalam tahap pengembangan awal.

Pengembangan sistem pirolisis cepat sampah/biomasa dengan suplai kalor konvensional telah banyak dilakukan. Penelitian Brown dan Holmgren [R.C. Brown and J. Holmgren, 2008] telah menghasilkan energi dalam bentuk padat, cair dan gas dengan komposisi 12-15% arang, 60-70% cair, dan 13-25% gas. Proses berlangsung cepat antara 0.5 - 2 detik untuk mendapatkan temperatur moderat 400 - 500°C pada tekanan atmosfer. Hasil minyak pirolisis ini dapat langsung digunakan pada mesin diesel stasioner, atau diproses lanjut. Prof. Yi Weiming dari Shandong University of Technology [Yi Weiming, 2006] telah mengembangkan beberapa prototipe skala umpan 50 - 200 kg/jam dan melakukan berbagai penelitian optimasi proses pirolisis dan konfigurasi sistem maupun variasi reaktor prosesnya.

Sementara penelitian pirolisis di dalam negeri telah dilakukan beberapa perguruan tinggi dalam skala lab. Penelitian tugas akhir sarjana oleh Ekasurya Poerwanto dari ITB [Ekasurya Poerwanto, 2009] merancang reaktor *batch* pirolisis serbuk gergaji, proses berlangsung pada 300-450°C dan waktu reaksi selama 30-60 menit, menghasilkan produk pirolisis mengandung air, asam karboksilat, dan senyawa aromatik. Disimpulkan dari penelitian tersebut, hasil yang diperoleh ini relatif sama dengan hasil yang diperoleh dari penelitian pirolisis biomasa lain.

Pemanfaatan teknologi pemanasan gelombang mikro sebagai sumber energi proses pirolisis biomasa merupakan pendekatan baru. Karena sifat pemanasan yang intrinsik dan volumetrik, pemanasan bahan baku dapat berjalan jauh lebih cepat dan merata daripada pemanasan konvensional, dihipotesiskan proses dapat digerakkan menjadi proses pirolisis cepat dan sangat cepat (*fast* dan *flash*) sehingga diharapkan dapat dihasilkan jumlah produk cair (*bio-oil*) lebih signifikan, selain produk energi berupa syngas dan sisa dalam bentuk arang.

Pengembangan dan penerapan teknologi gelombang mikro sebagai sumber pemanas pada proses pirolisis biomasa, dari artikel yang berhasil diperoleh melalui penelusuran web, sejauh ini baru dilakukan oleh peneliti beberapa institusi di luar negeri, yaitu Prof Heyerdahl dari Norwegian University [P.H. Heyerdahl, 2006] dan Dr. Roger

Ruan dkk dari University of Minnesota [R. Ruan, 2006].

Untuk mengembangkan teknik pirolisis gelombang mikro ini dalam bentuk yang dapat diaplikasikan, dibutuhkan eksperimentasi laboratorium, baik untuk mendapatkan karakteristik pemanasan proses pirolisis dalam rangka desain konfigurasi sistem dan proses pada tahap awal ini, maupun untuk kepentingan penelitian dan pengembangan sistem pirolisis biomasa dan sampah organik. Untuk itu perlu dibangun sebuah perangkat pemroses pirolisis biomasa skala laboratorium dan dilakukan eksperimentasi karakterisasi proses menggunakan gelombang mikro. Hasil ini akan dijadikan dasar desain prototipe sistem pirolisis sampah organik gelombang mikro kontinyu skala produksi.

Tabel 1. Komposisi produk pirolisis yang dihasilkan [P.H. Heyerdahl dan R. Ruan, 2006]

Power Input	300W		1000W	
	Corncob	Cellulose	Corncob	Cellulose
Gases (%)	14.36	7.52	46.88	23.64
Liquid (%)	16.34	13.76	30.16	43.64
Solids (%)	69.3	79.72	22.96	32.72

## 2.2. Dasar Perancangan konfigurasi

Dibutuhkan perangkat percobaan laboratorium untuk dapat melakukan eksperimentasi proses pirolisis biomasa dan sampah organik dengan gelombang mikro. Perancangan perangkat percobaan dan langkah-langkah percobaan merupakan langkah pertama yang harus dilakukan.

Pada dasarnya perangkat utama meliputi :

- Pembangkit gelombang mikro
- Pemandu gelombang mikro
- Reaktor pirolisis tipe batch
- Perangkat distilasi dengan sistem pendinginnya
- Sistem pengukuran

Membuat reaktor dari awal bukan merupakan langkah yang tepat, karena mendapatkan komponen pembangkit gelombang mikro tidak mudah, belum lagi kesulitan merakitnya. Untuk mengurangi kerumitan tersebut, akan lebih efektif dengan memanfaatkan oven gelombang mikro rumah tangga yang banyak tersedia dipasaran. Oven gelombang mikro komersial sudah mencakup tiga komponen utama yaitu pembangkit gelombang mikro dan sistem

kendalinya, pemandu gelombang mikro, dan ruang pemanasnya. Pembangkit gelombang mikro komersial memanfaatkan dengan frekuensi kerja yang umum digunakan untuk pemanas domestik, yaitu 2.45 GHz. Oven komersial dipilih karena harga yang terjangkau, dan akan menghemat waktu dan biaya daripada membuat generator tersendiri, yang membutuhkan keahlian tersendiri. Karena oven komersial diperuntukkan untuk kebutuhan memasak, pemilihan oven yang sesuai dan langkah-langkah memodifikasi yang tepat diperlukan agar oven dapat berfungsi sesuai kebutuhan dan aman.

Pemilihan oven ini juga harus memperhatikan daya yang dibutuhkan untuk proses, setidaknya berdasarkan literatur, yaitu memiliki daya output 600 - 900 W. Daya ini yang akan digunakan sebagai acuan desain reaktor proses. Oven dipilih yang memiliki penyetelan daya suplai dan waktu secara manual, agar memberi keleluasaan mengubah parameter percobaan, karena saat ini model oven gelombang mikro yang beredar di pasaran sudah banyak penyetelan menggunakan program, dimana daya dan waktu pemanasan mengacu pada jenis makanan yang hendak dimasak, bukan berdasarkan daya dan waktu yang diinginkan, sehingga model tersebut sulit digunakan sebagai pemanas pada percobaan ini.

Karena proses pirolisis harus terisolasi dari udara, sementara ruang pemanas oven gelombang mikro ada sirkulasi udara, dibutuhkan wadah kedap udara sebagai reaktor yang ditempatkan di dalam ruang pemanas dalam oven, dimana wadah tersebut harus disambungkan ke perangkat kondensasi di luar oven. Wadah ini harus tahan panas dan tidak menghambat atau memantulkan gelombang mikro. Wadah ini tidak boleh mengandung bahan logam. Bahan yang melewati gelombang mikro adalah gelas, yang juga bersifat isolasi, dengan demikian harus dipilih bahan gelas yang memang diperuntukkan bagi oven gelombang mikro. Dalam penelitian ini dipilih suatu wadah gelas berukuran 1 liter, yang dapat dibuka dan ditutup, dan dilengkapi dengan konektor pipa gelas yang akan menghubungkan reaktor dengan perangkat lain di luar oven.

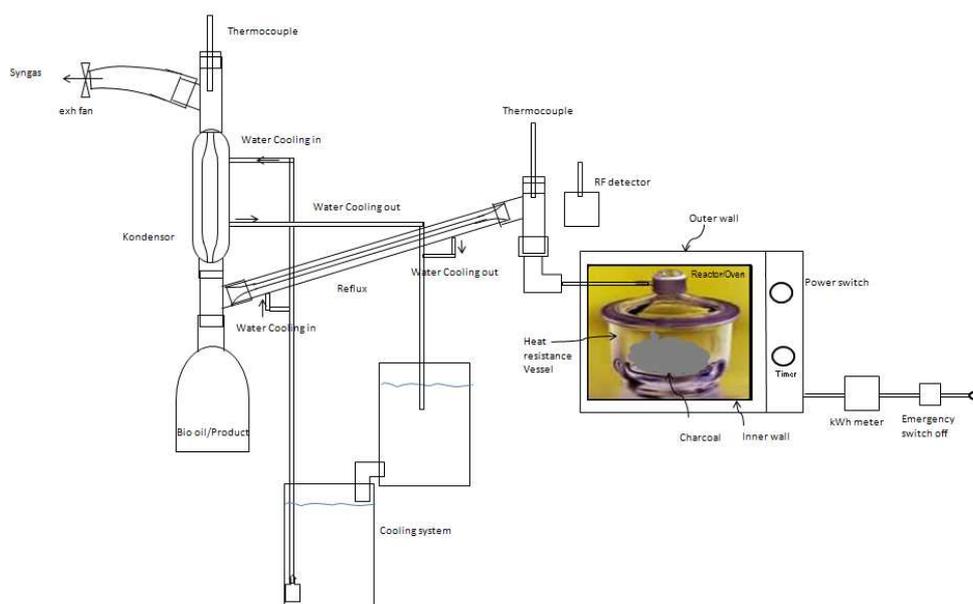
Untuk mengkondensasi uap yang dihasilkan dalam proses pirolisis, digunakan kolom distilasi gelas yang umum digunakan dalam laboratorium kimia, yang dimodifikasi disesuaikan dengan kebutuhan percobaan ini. Kolom distilasi ini dilengkapi dengan bak pendingin dengan air yang disirkulasi, serta penampung *pyrolysis-oil* hasil kondensasi. Pada ujung keluaran perangkat distilasi dipasang kipas penghisap untuk membantu mengeluarkan uap hasil pirolisis ke perangkat kondensasi sekaligus mengeluarkan

syngas yang juga sebenarnya merupakan produk proses pirolisis ini.

Untuk menghubungkan wadah gelas reaktor yang berada dalam oven dan perangkat kondensasi digunakan tubing konektor gelas tahan panas juga. Dengan demikian dinding oven harus dilubangi. Proses pelubangan ini harus memperhatikan sifat-sifat gelombang mikro agar radiasi tak bocor dan membahayakan orang di luarnya, dan harus memperhatikan sifat induksi medan elektromagnetik dalam rongga (*cavity*) pada dinding logam yang berpotensi menimbulkan loncatan listrik (*arcing*), yang bisa membahayakan sekitarnya. sehingga harus dihitung ukuran terbesar yang diperbolehkan agar radiasi tidak bocor dan cara melubangi yang harus hati-hati agar tidak merusak cat dinding dalam oven yang bisa menyebabkan ledakan gelombang. Dengan demikian ukuran lubang ini juga menentukan ukuran tubing gelas konektor.

Konfigurasi sistem proses pirolisis gelombang mikro skala lab yang akan dirancang meliputi

komponen-komponen proses yang secara skematis diberikan pada gambar 2. Konfigurasi perangkat eksperimen ini dilengkapi dengan perangkat pengukuran dinamika parameter proses pirolisis selama pengujian berlangsung, meliputi parameter proses dan parameter fisik reaktor serta daya input pada generator. Selama proses berlangsung, ruang percobaan dilengkapi detektor kebocoran gelombang mikro, dan *emergency shutdown*. Sejaht ini alat ukur temperatur belum dapat ditempatkan dalam wadah reaktor dalam oven mengingat termokopel terbuat dari logam, membutuhkan jalur khusus agar keberadaannya tidak menimbulkan potensi loncatan listrik. Pengukuran temperatur proses hanya dapat dilakukan menggunakan termometer infrared sesaat setelah proses selesai, dengan mengukur temperatur wadah gelas reaktor. Pengukuran ini tidak akurat, namun sementara hanya ini yang dapat dilakukan untuk memperkirakan temperatur proses yang dicapai.



Gambar 2. Skema konfigurasi perangkat percobaan pirolisis gelombang mikro

### 2.3 Instalasi dan Pengujian

Percobaan proses pirolisis menggunakan gelombang mikro ini baru perobaan awal untuk membuktikan hipotesis pemanasan gelombang mikro dapat menggerakkan proses menuju pirolisis cepat dan sangat cepat, dan membuktikan perangkat yang dirancang dan dirakit dapat mendukung percobaan laboratorium ini, serta proses modifikasi oven berjalan sesuai

perhitungan dan perkiraan sehingga aman digunakan. Dengan demikian dalam percobaan belum ditargetkan untuk memberikan karakteristik lebih rinci hasil proses terhadap berbagai bahan baku dan parameter-parameternya kecuali perkiraan daya dan waktu proses. Karena itu percobaan hanya dilakukan menggunakan sembarang bahan biomasa tanpa karakterisasi parameter fisik maupun kimianya.

Bahan baku ditimbang dan dimasukkan ke dalam reaktor gelas. Sebelumnya bahan baku sedikit dihaluskan untuk mengurangi rongga udara dalam reaktor gelas, sehingga proses tanpa oksigen dapat dikondisikan seminimal mungkin. Selain itu setelah reaktor ditempatkan dalam oven dan disambungkan dengan *tubing* pada perangkat kondensasi, kipas penghisap dinyalakan dahulu beberapa saat untuk mengurangi keberadaan oksigen dalam rangkaian sistem, untuk memperbesar peluang proses dengan keberadaan oksigen yang minimum. Fan penghisap dan perangkat pendingin harus dinyalakan sebelum pemanasan dilakukan. Proses persiapan dan konfigurasi percobaan ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4.

Dalam percobaan ini digunakan biomasa dari sampah cangkang jambu mete dan bahan biomasa lainnya, baik yang telah dicacah maupun utuh jika ukuran sudah memadai, masing-masing sampel 300 gram. Diharapkan dalam percobaan ini akan diperoleh temperatur proses yang cepat untuk menghasilkan *pyrolysis-oil* dan sisa arang serta *syngas* pada ujung fan penghisap. Belum dapat dilakukan uji bakar untuk membuktikan keberadaan *syngas* mengingat hilir output gas ini tak tersedia pipa *flare*-nya. Pengamatan paling mudah adalah pengamatan produk cair dan sisa arang. Percobaan akan dilakukan dengan daya gelombang output maksimum 850W dengan waktu yang dihipotesiskan untuk bahan baku 300 gram sekitar 5-15 menit.



Gambar 3. Pencacahan dan penimbangan



Gambar 4. Konfigurasi perangkat percobaan

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan pertama dilakukan dengan mencoba variasi waktu, dengan bahan baku biji jarak kepyar kadaluarsa yang telah dicacah, dengan berat 300 gram. Pengamatan visual dilakukan hingga tampak penguapan yang masuk ke kolom

kondensasi. Pengamatan menunjukkan belum diperoleh hasil yang memadai dengan waktu proses 5 menit. Proses baru dapat teramati pada percobaan dengan waktu proses 10 menit. Percobaan pertama ini menunjukkan masih ada kesulitan melakukan uap proses pada sistem kondensasi, akibat tar sudah terkondensasi sebelum melalui pendingin. Hasil percobaan ini ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Percobaan pertama, belum diperoleh produk bio-oil yang memadai

Tar yang dihasilkan pada percobaan pertama ini tak mampu naik ke perangkat kondensasi, akibat lengkungan pada tubing yang berlawanan dengan gravitasi. Konfigurasi ini dipilih karena sederhana, tidak membutuhkan penyangga tambahan pada oven, dengan asumsi uap dapat melalui tubing gelas yang hanya setinggi sekitar 10 cm tersebut. Tar merupakan senyawa dengan berat molekul besar sehingga ternyata dengan mudah terkondensasi dengan udara luar saja. Tar ini berbalik kembali ke dalam reaktor gelas. Dengan demikian temperatur proses terganggu sehingga pengukuran setelah selesai proses, reaktor hanya mencapai 215°C, jauh dari yang diharapkan minimal 350°C. Namun demikian arang telah terbentuk hanya dalam 10 menit, jauh lebih cepat dibandingkan dengan proses konvensional, meskipun konfigurasi ini masih dirasa belum optimal. Pada percobaan awal ini diperoleh bio-oil hanya sekitar 5 ml dari total 45 ml cairan dan sisanya air, sedangkan arang yang masih bercampur dengan tar diperoleh 210 gram.

Peralatan ini harus dimodifikasi kembali untuk meningkatkan proses. Meningkatkan oven setinggi perangkat kondensasi akan memberikan kesulitan tersendiri merakit kembali peralatan ini. Akhirnya dilakukan penambahan penampung tar pada keluaran *tubing* dari oven, sehingga tar tak perlu naik ke kolom kondensasi, namun dapat langsung masuk ke wadah penampung tambahan antara oven dan kolom kondensasi. Pelaksanaan percobaan kedua diberikan pada gambar 6.



Gambar 6. Percobaan kedua, 300 gram bahan baku, 10 menit percobaan

Percobaan kedua ini menghasilkan proses yang lebih baik, temperatur proses yang diukur sesaat setelah percobaan selesai mampu mencapai  $368^{\circ}\text{C}$ , sedangkan temperatur uap pada inlet kondensasi mencapai lebih dari  $150^{\circ}\text{C}$ . Produk cair yang dihasilkan sebanyak 160 ml, dengan 90 ml air dan 70 ml bio-oil, sedangkan arang sisa yang dihasilkan sebanyak 60 gram. Produk cair dan padat yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 7. Pada percobaan ini konsumsi listrik oven diukur, diperoleh 0.2579 kwh.



Gambar 7. Produk cair dan padat (arang) yang dihasilkan.

Percobaan berikutnya dilakukan dengan mengubah konfigurasi peralatan kondensasi, spt ditunjukkan di gambar 8.



Gambar 8. Percobaan dengan mengubah konfigurasi perangkat kondensasi

Bahan baku menggunakan sisa biomasa dari biji jarak kepyar yang sudah kadaluarsa sebanyak 300 gram, tanpa dicacah. Perubahan konfigurasi ini untuk melihat pengaruh susunan kolom pendingin terhadap proses. Hasil produk percobaan dengan kolom vertikal dan uji bakar pada produk minyak ditunjukkan pada gambar 9. Percobaan pembakaran minyak menunjukkan, minyak cukup mudah terbakar secara langsung dengan mencelupkan batang kayu dalam minyak dan menyulutnya, tidak seperti minyak jarak yang

sulit terbakar secara langsung. Melihat hasil ini, minyak hasil pirolisis berpotensi sebagai pengganti minyak tanah.

Semua percobaan dilakukan pada kecepatan maksimum kipas penghisap yaitu sekitar 2 m/det. Dengan konfigurasi semua kolom disusun vertikal, tarikan fan tidak cukup kuat melawan gaya gravitasi untuk mengangkat uap melewati kolom-kolom pendingin, sehingga sebagian tar berbalik kembali, terlihat dari sisa arang masih mengandung tar. Produk yang dihasilkan pada percobaan ini adalah, arang 150 gram, minyak 47 ml dan air 38 ml. Karena semua percobaan dilakukan pada daya oven maksimum dan waktu percobaan 10 menit, pada percobaan ini tak dilakukan pengukuran daya oven.



Gambar 9. Produk pirolisis dan uji bakar minyak pirolisis

Dari semua percobaan awal yang telah dilakukan menunjukkan perbedaan waktu respon yang signifikan pemanasan secara konvensional yang dikenal dengan *surface heating* dan pemanasan menggunakan *microwave* yang dikenal dengan *volumetric heating*. Pengalaman menguji dan mengoperasikan sistem karbonisasi biomasa menunjukkan, proses karbonisasi yang juga merupakan proses pirolisis lambat, membutuhkan waktu setidaknya 45 menit untuk menghasilkan arang yang matang. Percobaan-percobaan di atas menunjukkan perbedaan waktu yang besar jika diacukan pada proses pengurangan yang dihasilkan, dimana menggunakan gelombang mikro hanya membutuhkan waktu 10 menit, meskipun konfigurasi kolom pendingin yang tepat amat dibutuhkan agar proses pemanasan dalam reaktor dapat berjalan efektif, tidak terganggu dengan material cair yang kembali ke reaktor.

Percobaan ini masih tahap awal, sehingga lebih fokus pada pembuktian hipotesis bahwa unit oven gelombang mikro domestik ini dapat dimodifikasi dengan memperhatikan segala aspek yang dibutuhkan agar tujuan percobaan tercapai dan aman digunakan, sehingga dapat menjadi fasilitas eksperimen laboratorium proses pirolisis cepat pada bahan organik.

Masih banyak parameter proses yang masih perlu dikaji seperti respon temperatur dalam

reaktor yang masih belum dapat diukur secara langsung. Parameter lain adalah laju pengeluaran uap yang belum dikarakterisasi, laju air pendingin, serta waktu proses yang optimal berdasarkan karakteristik bahan baku. Selain itu uji komposisi dan uji emisi pembakaran *syngas*, minyak dan arang yang dihasilkan, juga belum dapat dilakukan juga karena keterbatasan peralatan yang tersedia dan biaya, termasuk uji karakterisasi bahan baku berdasarkan sifat fisiknya seperti kadar air, densitas, dan bentuk serta ukuran partikel. Semua ini membutuhkan riset dengan biaya tersendiri yang tidak tersedia dalam percobaan-percobaan di atas. Kegiatan di atas merupakan kegiatan *in-house research* dengan memanfaatkan fasilitas yang ada dari kegiatan lain dan bahan percobaan memanfaatkan bahan organik buangan.

Diharapkan dari studi dan eksperimentasi awal ini dapat dikembangkan dalam bentuk desain sistem produksi *bio-oil* kontinyu yang dapat diaplikasikan dalam skala produksi. Persoalan yang akan dihadapi dalam operasional sistem kontinyu akan berbeda dengan sistem *batch* yang ada pada perangkat percobaan lab ini, baik dalam prosesnya, maupun keamanan operasionalnya. Karena itu desain yang cermat dan antisipatif terhadap sifat-sifat gelombang mikro dan perilaku proses terhadap konfigurasi sistem perlu dikaji melalui percobaan-percobaan lanjutan agar dapat diperoleh gambaran lebih rinci sistem pirolisis biomassa menggunakan teknik gelombang mikro ini, yang dapat menjadi acuan dalam mendesain sistem kontinyu, yang selayaknya dimulai dengan skala mini, yang dapat dikembangkan menjadi skala produksi yang efisien, efektif dan aman diterapkan di tengah masyarakat.

#### 4. KESIMPULAN

- Percobaan pirolisis biomassa gelombang mikro dan pengujian perangkat hasil modifikasi dari oven gelombang mikro komersial ini menunjukkan perangkat percobaan dapat berfungsi dengan baik dan aman digunakan. Konfigurasi sistem kondensasi masih perlu dioptimasi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
- Percobaan awal ini memberikan hasil yang cukup menggembirakan, dengan waktu proses sesuai yang diharapkan, ditunjukkan dengan respon yang cepat untuk menghasilkan produk minyak dan arang yang hanya berlangsung dalam 10 menit. Dengan demikian proses sudah dapat diasumsikan dapat digerakkan

menuju pirolisis cepat (*fast and flash pyrolysis*).

- Minyak pirolisis yang dihasilkan secara visual pada uji bakar menunjukkan sifat yang cukup mudah terbakar secara langsung. Hal ini juga memberikan hasil yang menggembirakan, mengingat minyak hasil ekstraksi biji jarak pagar tidak bisa dibakar secara langsung. Hasil ini masih harus diikuti penelitian lanjut dengan uji emisinya, serta uji karakterisasi parameter proses lainnya yang membutuhkan waktu, biaya dan perhatian tersendiri, termasuk peningkatan komponen dan konfigurasi perangkat percobaan.
- Dari hasil eksperimentasi awal ini sudah dapat diperkirakan kisaran waktu respon proses dari sampel percobaan yang ada, dan sudah dapat dimulai perancangan sistem pirolisis gelombang mikro kontinyu skala mini. Persoalan yang akan dihadapi pada sistem kontinyu akan berbeda dengan sistem *batch* karena adanya material yang bergerak. Rancang bangun dan pengujian sistem kontinyu mini merupakan langkah awal menuju perancangan sistem produksi skala komersial, diharapkan dapat direalisasikan jika dapat diperoleh dana riset lanjutan. Dengan diperolehnya desain skala komersial lengkap, hasil riset ini diharapkan dapat diaplikasikan di sentra-sentra penghasil sampah organik, baik dari pertanian maupun tempat penampungan sampah umum, sehingga ikut berkontribusi dalam penyediaan bahan bakar untuk masyarakat dan juga mengatasi masalah lingkungan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Brown, R.C., and J. Holmgren, *Fast Pyrolysis and Bio-oil Upgrading*, Iowa State University and UOP Honeywell Co, 2008
- Heyerdahl, PH, and Geoffrey Gilpin, *Distributed Biomass Conversion*, Norwegian University, Oslo, 2006
- Mande, Sanjay, *Learning Gasification Basics*, The Energy and Resources Institute (TERI), New Delhi, 2009.
- Nasir , R.Y., [http:// sosbud.kompasiana.com/2010/02/12/jakarta-ibukota-sampah-](http://sosbud.kompasiana.com/2010/02/12/jakarta-ibukota-sampah-)

indonesia/ Jakarta Ibukota Sampah Indonesia, 12 Februari 2010, Jakarta, 2010.

Poerwanto, Ekasurya, Perancangan Reaktor dan Pengembangan Prosedur Operasi Pirolisis Serbuk Gergaji untk Menghasilkan Bio-oil, : Tugas Akhir, ITB, Bandung, 2009.

Radar Sulteng online, Sampah Indonesia 167 Ribu Ton Per Hari, <http://www.radarsulteng.com/berita/index.asp?Berita=Utama&id=48959>, 23 Februari 2009.

Ruan, Roger et al., Distributed Biomass Energy Production System Utilizing Microwave Assisted Pyrolysis, University of Minnesota, 2006.

Yi, Weiming, Biomass Liquifaction Technology, Shandong University of Technology, Shandong, China, 2006.