



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SERTIFIKAT PATEN

Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia atas nama Negara Republik Indonesia berdasarkan Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2016 tentang Paten, memberikan hak atas Paten kepada:

Nama dan Alamat Pemegang Paten : SENTRA KI LP2M UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Gedung LP2M Lt. 2,
Kampus Sekaran Gunungpati
Semarang, 50229

Untuk Invensi dengan Judul : REAKTOR PIROLISIS HIBRIDA BERBASIS ENERGI
GELOMBANG MIKRO UNTUK PRODUKSI BARAN BAKAR
DARI BERBAGAI LIMBAH

Inventor : Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.
Ahmad Mustamil Khoiron, S.Pd., M.Pd
Adhi Kusumastuti, S.T., M.T., Ph.D.

Tanggal Penerimaan : 27 Desember 2018

Nomor Paten : IDP000080053

Tanggal Pemberian : 30 November 2021

Perlindungan Paten untuk invensi tersebut diberikan untuk selama 20 tahun terhitung sejak Tanggal Penerimaan (Pasal 22 Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2016 tentang Paten).

Sertifikat Paten ini dilampiri dengan deskripsi, klaim, abstrak dan gambar (jika ada) dari invensi yang tidak terpisahkan dari sertifikat ini.



a.n. Menteri Hukum Dan Hak Asasi Manusia
Direktur Jenderal Kekayaan Intelektual
u.b.

Direktur Paten, Desain Tata Letak
Sirkuit Terpadu dan Rahasia Dagang


Dra. Dede Mia Yusanti, MLS.
NIP. 196407051992032001

KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA RI
DIREKTORAT JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
DIREKTORAT PATEN, DESAIN TATA LETAK SIRKUIT TERPADU DAN RAHASIA DAGANG
 Jln. H.R. Rasuna Said, Kav. 8-9 Kuningan Jakarta Selatan 12940
 Phone/Facs. (6221) 57905611; Website: www.dgip.go.id

PEMBAYARAN BIAYA TAHUNAN

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 28 tahun 2019 tentang Jenis dan Tarif Atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak Yang Berlaku Pada Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia, biaya tahunan yang harus dibayarkan adalah sebagaimana dalam tabel di bawah.

Nomor Paten : IDP000080053 Tanggal diberi : 30/11/2021 Jumlah Klaim : 2
 Nomor Permohonan : P09201811188 IPAS Filing Date : 27/12/2018
 Entitlement Date : 27/12/2018

Perhitungan biaya tahunan yang sudah dibayarkan adalah :

Biaya Tahunan Ke	Periode Perlindungan	Batas Akhir Pembayaran	Tgl Pembayaran	Jumlah Pembayaran	Keterangan
No record available					

Perhitungan biaya tahunan yang belum dibayarkan adalah :

Biaya Tahunan Ke-	Periode Perlindungan	Batas Akhir Pembayaran	Biaya Dasar	Jml Klaim	Biaya Klaim	Total	Terlambat (Bulan)	Total Denda	Jumlah Pembayaran
1	27/12/2018-26/12/2019	29/05/2022	1.000.000	2	150.000	1.150.000	0	0	1.150.000
2	27/12/2019-26/12/2020	29/05/2022	1.000.000	2	150.000	1.150.000	0	0	1.150.000
3	27/12/2020-26/12/2021	29/05/2022	1.000.000	2	150.000	1.150.000	0	0	1.150.000
4	27/12/2021-26/12/2022	29/05/2022	1.250.000	2	200.000	1.450.000	0	0	1.450.000
5	27/12/2022-26/12/2023	28/11/2022	1.250.000	2	200.000	1.450.000	0	0	1.450.000
6	27/12/2023-26/12/2024	28/11/2023	1.750.000	2	350.000	2.100.000	0	0	2.100.000
7	27/12/2024-26/12/2025	28/11/2024	2.250.000	2	450.000	2.700.000	0	0	2.700.000
8	27/12/2025-26/12/2026	28/11/2025	2.250.000	2	450.000	2.700.000	0	0	2.700.000
9	27/12/2026-26/12/2027	28/11/2026	3.000.000	2	600.000	3.600.000	0	0	3.600.000
10	27/12/2027-26/12/2028	28/11/2027	4.000.000	2	800.000	4.800.000	0	0	4.800.000
11	27/12/2028-26/12/2029	28/11/2028	6.500.000	2	1.000.000	7.500.000	0	0	7.500.000
12	27/12/2029-26/12/2030	28/11/2029	6.500.000	2	1.000.000	7.500.000	0	0	7.500.000
13	27/12/2030-26/12/2031	28/11/2030	6.500.000	2	1.000.000	7.500.000	0	0	7.500.000
14	27/12/2031-26/12/2032	28/11/2031	6.500.000	2	1.000.000	7.500.000	0	0	7.500.000
15	27/12/2032-26/12/2033	28/11/2032	6.500.000	2	1.000.000	7.500.000	0	0	7.500.000
16	27/12/2033-26/12/2034	28/11/2033	6.500.000	2	1.000.000	7.500.000	0	0	7.500.000
17	27/12/2034-26/12/2035	28/11/2034	6.500.000	2	1.000.000	7.500.000	0	0	7.500.000
18	27/12/2035-26/12/2036	28/11/2035	6.500.000	2	1.000.000	7.500.000	0	0	7.500.000
19	27/12/2036-26/12/2037	28/11/2036	6.500.000	2	1.000.000	7.500.000	0	0	7.500.000
20	27/12/2037-26/12/2038	28/11/2037	6.500.000	2	1.000.000	7.500.000	0	0	7.500.000

Biaya yang belum dibayarkan hingga tanggal 17-02-2022 (tahun ke- 5) adalah sebesar Rp. 6.350.000 

- Pembayaran biaya tahunan untuk pertama kali wajib dilakukan paling lambat 6 (enam) bulan terhitung sejak tanggal diberi paten
- Pembayaran biaya tahunan untuk pertama kali meliputi biaya tahunan untuk tahun pertama sejak tanggal penerimaan sampai dengan tahun diberi Paten ditambah biaya tahunan satu tahun berikutnya.
- Pembayaran biaya tahunan selanjutnya dilakukan paling lambat 1 (satu) bulan sebelum tanggal yang sama dengan Tanggal Penerimaan pada periode perlindungan tahun berikutnya.
- Permohonan penundaan pembayaran biaya tahunan akan diterima apabila diajukan paling lama 7 hari kerja sebelum tanggal jatuh tempo pembayaran biaya tahunan berikutnya, dan bukan merupakan pembayaran biaya tahunan pertama kali.
- Dalam hal biaya tahunan belum dibayarkan sampai dengan jangka waktu yang ditentukan, Paten dinyatakan dihapus

Deskripsi**REAKTOR PIROLISIS HIBRIDA BERBASIS ENERGI GELOMBANG MIKRO
UNTUK PRODUKSI BAHAN BAKAR DARI BERBAGAI LIMBAH**

5

Bidang Teknik Invensi

Invensi ini berhubungan dengan reaktor hibrida berbasis energi gelombang mikro yang menggabungkan proses pemanasan absorpsi gelombang mikro (*microwave absorption*) dan plasma gelombang mikro (*microwave plasma*) yang digunakan untuk mengolah berbagai jenis limbah menjadi bahan bakar padat, cair maupun gas melalui proses pirolisis.

15

Latar Belakang Invensi

Pengolahan limbah sangat dibutuhkan untuk mengatasi permasalahan lingkungan. Limbah sebenarnya dapat diolah kembali menjadi bahan bakar, salah satunya melalui proses pirolisis. Saat ini ada dua metode pemanasan yang banyak digunakan pada proses pirolisis, yaitu pemanas konvensional dan pemanas berbasis energi gelombang mikro, dapat berupa absorpsi gelombang mikro atau plasma gelombang mikro. Pada satu sisi, proses pirolisis menggunakan pemanas konvensional seperti pemanas listrik memiliki kelemahan mendasar yaitu proses transfer panas/kalor sangat lambat. Sumber pemanas biasanya ditempatkan pada dinding luar reaktor sehingga temperatur tertinggi didapat pada bagian luar sedangkan temperatur pada bagian dalam dan tengah reaktor lebih rendah. Pada sisi lain, proses pirolisis menggunakan salah satu mode pemanas berbasis energi gelombang mikro juga memiliki kelemahan meskipun proses transfer kalor sangat cepat. Kelemahan pemanas jenis ini adalah temperatur tertinggi berada pada bagian tengah reaktor sedangkan pada daerah dekat dinding reaktor memiliki temperatur yang lebih rendah. Fenomena ini terjadi

secara signifikan jika menggunakan reaktor dengan diameter lebih besar dari panjang gelombang *microwave*. Kedua kondisi tersebut, baik pemanas konvensional maupun salah satu mode pemanas gelombang mikro menghasilkan distribusi temperatur dalam reaktor yang tidak merata/homogen baik aksial maupun radial. Hal ini berimplikasi pada jumlah produk bahan bakar yang dihasilkan tidak maksimal.

Invensi ini diajukan untuk mengatasi masalah tersebut di atas, yaitu dengan menerapkan reaktor hibrida yang menggabungkan proses pemanasan gelombang mikro secara absorpsi dan plasma secara simultan.

Kutipan Paten Sebelumnya

Di US Pat. No. 6.184.427 B1 dikeluarkan 6 Februari 2001, Klepfer, dkk, mengklaim tentang metode konversi limbah polimer menjadi sumber energi yang dapat dibakar, terdiri dari campuran limbah hidrokarbon polimer dengan sensitizer untuk dipaparkan pada energi gelombang mikro, dimana limbah hidrokarbon polimer dapat terpapar energi gelombang mikro dalam lingkungan yang membutuhkan banyak oksigen.

Di US Pat. No.8.466.332 B1, dikeluarkan 18 Januari 2013, Hemmings, dkk, mengklaim peralatan untuk memproses bahan organik yang memiliki berat molekul tinggi, peralatan terdiri dari: bejana reaksi yang dirancang agar dapat menerima bahan organik dengan berat molekul tinggi. Bejana reaksi memiliki bagian atas dan bagian bawah serta dapat digunakan untuk bahan baku cair. Terdapat *port* pengarah gelombang mikro yang disusun dan dikonstruksi dengan tujuan untuk memanaskan bahan dalam bejana reaksi sehingga terjadi depolimerisasi bahan melalui penyerapan gelombang mikro oleh bahan.

Di US Pat. No. 9.481.577 B2, dikeluarkan 1 November 2016, Targett, dkk, mengklaim metode untuk memproses limbah dengan menggunakan reaktor, salah satunya adalah dengan cara memanaskan limbah dalam reaktor menggunakan setidaknya salah satu dari pemanas induksi, pemanas *microwave*, pemanas

frekuensi radio, pemanas hambatan listrik, pemanas laser, dan pemanas plasma.

Di US Pat. 2015/0068113 A1, dikeluarkan 12 Maret 2015, Conner, dkk, mengklaim tentang alat dan metode untuk
5 memproses biomassa menjadi arang, karbon aktif, bio-oil, karbon rekarburifikasi, atau kokas dengan menggunakan energi gelombang mikro.

Di US Pat. No. 7. 951.270 B2 dikeluarkan 31 Mei 2011, Palafox, dkk, mengklaim tentang metode berkelanjutan untuk
10 mendaur ulang laminasi logam/organik yang terdiri dari logam yang dilaminasi dengan bahan organik. Salah satu metodenya adalah dengan menyediakan reaktor yang terdiri dari dua ruang. Ruang pertama berisi lapisan dari bahan penyerap partikel gelombang mikro dan *rotary stirrer*. Ruang
15 kedua berisi lapisan bahan penyerap partikel gelombang mikro dan *rotary stirrer* kedua, ruang kedua memiliki saluran keluar/pembuangan dari reaktor.

Di US Pat. No. 3.519.517, dikeluarkan 7 Juli 1970, Dench, dkk, mengklaim pemanfaatan energi gelombang mikro
20 yang diradiasikan di dalam satu ruang, dimana di dalam ruang tersebut terdapat sebuah *stall* yang menjadi sarana untuk memancarkan energi gelombang elektromagnetik pada frekuensi gelombang mikro.

Di US. Pat. No. 4.266.108, dikeluarkan 5 Mei 1981, Anderson, dkk, mengklaim tentang perangkat pemanas
25 gelombang yang terdiri dari bagian pemantul gelombang mikro, dipasang berdekatan dengan bahan penyerap gelombang mikro magnetik. Dengan menjadi magnet, bahan penyerap akan panas karena terhubung oleh radiasi gelombang mikro
30 komponen magnetik.

Di US. Pat. No. 4.631.133, dikeluarkan 23 Desember 1986, Axelrod, mengklaim tentang sebuah metode dan perangkat untuk memisahkan dan membuang material limbah padat. Peralatan terdiri dari *inlet housing*, untuk
35 menyalurkan limbah menuju *housing*. Filter diletakkan di *housing* untuk menyaring limbah yang akan dimasukkan ke dalam *housing*. *Outlet housing*, berfungsi untuk membebaskan komponen cair/encer dari *housing*. Sebuah sarana untuk

membakar komponen bahan limbah padat, alat pembangkit *microwave*, sarana elemen pemanas, dan sarana untuk menghilangkan partikel abu dari *housing*.

Di US. Pat. No. 5.270.515, dikeluarkan 14 Desember
5 1993, Long, mengklaim sebuah reaktor *microwave* yang terdiri dari bola berongga dan pengarah gelombang mikro.

Di US. Pat. No. 5.565.670, dikeluarkan 21 Januari
10 1986, Miyazaki, dkk, mengklaim sebuah alat perlakuan panas menggunakan gelombang mikro untuk mengatasi zat yang mengandung bahan nuklir secara berkelanjutan, terdiri dari:
sebuah silinder luar stasioner yang memiliki suatu lubang masuk pada salah satu ujungnya, terdapat *port* keluar pada ujung yang lain, dan satu *port* untuk pembuangan gas. Terdapat silinder bagian dalam yang berada dalam satu sumbu
15 di putar di dalam silinder luar tersebut.

Di US. Pat. No. 4.940.865, dikeluarkan 10 Juli 1990, Johnson, dkk, mengklaim tentang peralatan untuk memanaskan dan melelehkan bahan menggunakan energi gelombang mikro, dan memungkinkan bahan tersebut untuk memadat. Peralatan
20 meliputi sumber energi gelombang mikro, reaktor dengan rongga resonansi, pemantul energi gelombang mikro, wadah logam untuk menahan bahan yang akan dipanaskan dan meleleh, meja putar, dan meja angkat.

Di US. Pat. No. 5.106.594, dikeluarkan 21 April 1992,
25 Held, dkk, mengklaim tentang peralatan dan metode untuk memproses limbah medis menggunakan radiasi elektromagnetik frekuensi radio. Peralatan terdiri dari sarana untuk menerapkan radiasi elektromagnetik frekuensi radio ke limbah medis dalam jumlah yang cukup untuk mendisinfeksi
30 limbah medis. Peralatan merupakan sarana untuk menerapkan radiasi elektromagnetik frekuensi radio terdiri dari pemanas dielektrik yang mampu menerapkan radiasi frekuensi radio untuk menaikkan suhu limbah sampai sekitar 90° hingga 100°C.

Di US. Pat. No. 5.324.485, dikeluarkan 21 April 1994,
35 White, mengklaim tentang pemakaian *microwave* untuk memproses limbah *slurry* radioaktif menggunakan jaringan pemandu gelombang. Terdiri dari: reaktor yang memiliki

bagian dalam dan ujung bawah terbuka yang dapat diposisikan di atas wadah limbah, sebuah saluran masuk *slurry* yang membentang secara koaksial ke dalam reaktor, dan alat pengarah gelombang yang terhubung ke sumber daya gelombang mikro.

Di US. Pat. No. 5.363.777, dikeluarkan 15 November 1994, Yoshimoto, dkk, mengklaim tentang peralatan untuk memanaskan bahan limbah, yang terdiri dari: (1) *housing*; (2) ruang pembakaran pertama; (3) *housing* untuk penampung bahan limbah; (4) ruang pembakaran kedua; (5) filter keramik; (6) pemanas; (7) saluran gas buang; dan (8) katalisator.

Di US. Pat. No. 6.187.206, dikeluarkan 13 Februari 2001, Bernier, dkk, mengklaim tentang reaktor pengolahan air limbah yang mengandung bahan organik sianida terlarut. Terdiri dari reservoir larutan air limbah yang memiliki saluran masuk dan keluar, dan terdapat sebuah *plasma torch* untuk mengarahkan pancaran energi plasma ke dalam wadah dari *outlet* yang tersedia di dalam *torch*, dicirikan bahwa reaktor merupakan tabung terbuka yang ditempatkan dalam wadah, seperti tabung terbuka yang terendam. *Plasma torch* diposisikan berdekatan dengan sebuah pintu masuk tabung terbuka.

Di US. Pat. No. 6.987.792 B2, dikeluarkan 17 Januari 2006, Do, dkk, mengklaim peralatan pirolisis plasma, gasifikasi, dan vitrifikasi bahan yang terdiri dari: reaktor yang berbentuk corong, memiliki bagian atas dan bagian bawah. Bagian sisi bawah pertama lebih luas, terhubung oleh *frustoconic transition* ke bagian kedua yang lebih sempit. Bagian atas setidaknya memiliki satu lubang keluar gas. Terdapat *gas inlet control system* di sekitar bagian bawah untuk menyediakan gas ke bagian yang lebih bawah melalui satu atau lebih *intake port*, dan sejumlah busur plasma dipasang di bagian sisi bawah untuk memanaskan katalis karbon.

Di US. Pat. No. 7.101.464 BI, dikeluarkan 5 September 2006, Pringle, mengklaim peralatan destilasi gelombang mikro yang dapat digunakan untuk destilasi limbah ban

bekas. Peralatannya meliputi: (1) *housing*, sejumlah *housing* yang diatur secara vertikal; (2) sebuah ruang pemanasan awal; (3) sebuah ruang iradiasi yang terletak di bawah ruang pemanasan awal; (4) pemasok energi gelombang mikro; dan (5) ruang pendingin yang terletak di bawah ruang iradiasi.

Di US. Pat. No. US 2009/0121798 A1, dikeluarkan 14 Mei 2009, Levinson, mengklaim sebuah variabel kapasitor *power supply* ber-daya tinggi. Ruang kerja *microwave* dikonfigurasi untuk mengeringkan sampah, membakar sampah kering, meningkatkan proses kimia, membersihkan nitrogen bebas, membakar sampah logam, mengambil kembali komponen logam dari limbah campuran logam, untuk gasifikasi, pirolisis, dan pembuangan limbah plasma.

Di US. Pat. No. 5.223.231 dikeluarkan 29 Januari 1993, Drake, mengklaim suatu proses dan peralatan untuk mensterilkan infeksi bioaktif dari limbah berbahaya dengan menggunakan *microwave*. Peralatan meliputi sebuah tempat/bejana yang saling berhubungan antara dinding depan, belakang, dan samping yang kemudian membentuk kompartemen bagian dalam berongga. Peralatan memiliki ruang yang mampu menahan tekanan dan menerima kompartemen pada bagian dalam bejana, ruang tersebut memiliki dinding atas, bawah, belakang dan samping, bejana mampu digeser atau memungkinkan kompartemen dapat ditempatkan secara bergantian dalam ruang tekanan. Terdapat sebuah sarana untuk menginjeksi uap ke dalam bejana tersebut. Terdapat sarana *microwave* yang digunakan untuk mengamankan limbah terinfeksi dengan cara pemanasan radiasi gelombang mikro untuk mensterilkan bahan limbah tersebut.

Di US. Pat. No. 5.191.184 dikeluarkan 2 Maret 1993, Shin, mengklaim tentang peralatan pemurnian dan insinerasi limbah yang terdiri dari: (1) sepasang ruang pemurnian dan pembakaran; (2) suatu bagian yang dapat ditukar atau beralih sesuai dengan sinyal kontrol; (3) alat penyerap untuk menghasilkan panas dengan menyerap frekuensi sangat tinggi yang dihasilkan oleh magnetron untuk mengeringkan dan membakar limbah; (4) sarana pengaduk yang digerakkan

oleh motor penggerak untuk menggiling sampah dan untuk menyebarkan frekuensi yang sangat tinggi secara merata; (5) sejumlah alat sensor untuk mendeteksi kondisi limbah yang dimasukkan ke dalam ruang pemurnian dan pembakaran; (6) alat penyaring dan desinfektan untuk menyaring dan mendisinfeksi kandungan cairan tersebut; (7) penyaring gas untuk menyaring dan mengeluarkan gas beracun.

Berdasarkan berbagai referensi paten di atas, dapat disimpulkan bahwa tidak ada yang melaporkan tentang pemanfaatan pemanasan gelombang mikro secara absorpsi dan plasma secara simultan untuk proses konversi berbagai limbah menjadi bahan bakar hidrokarbon.

Ringkasan Invensi

Invensi ini berhubungan dengan suatu peralatan untuk mengolah berbagai limbah padat atau cair secara pirolisis dengan memanfaatkan reaktor hibrida yang menggabungkan pemanasan *microwave absorption* dan *microwave plasma* secara simultan. Peralatan ini terdiri dari dua komponen utama yaitu sebuah *microwave oven* dan reaktor hibrida. Berdasarkan karakter pemanasan yang dimiliki kedua peralatan ini, maka kedua alat ini dikombinasikan agar memperoleh pemanasan yang merata pada limbah yang diproses untuk mendapatkan produk berupa bahan bakar secara maksimal melalui proses pirolisis.

Peralatan ini meliputi sebuah *microwave oven* yang memiliki beberapa komponen seperti: (1) *microwave power and timer controller*; (2) *microwave temperature controller*; (3) flow meter; (4) ruang pemanas (*cavity*); dan (5) magnetron. Sebuah reaktor hibrida yang diletakkan di dalam *microwave oven* terdiri dari beberapa komponen seperti: (1) reaktor/bejana; (2) plat logam/elektroda untuk membangkitkan *plasma discharge*; (3) tutup reaktor; (4) saluran keluar hasil produk; (5) saluran masuk; (6) bahan absorber, dan (7) termokopel. Peralatan juga memiliki kondenser, *liquid collector*, dan nitrogen *cylinder*. Invensi ini difokuskan pada bagian reaktor hibrida dan komponen-komponen di dalamnya.

Uraian Singkat Gambar

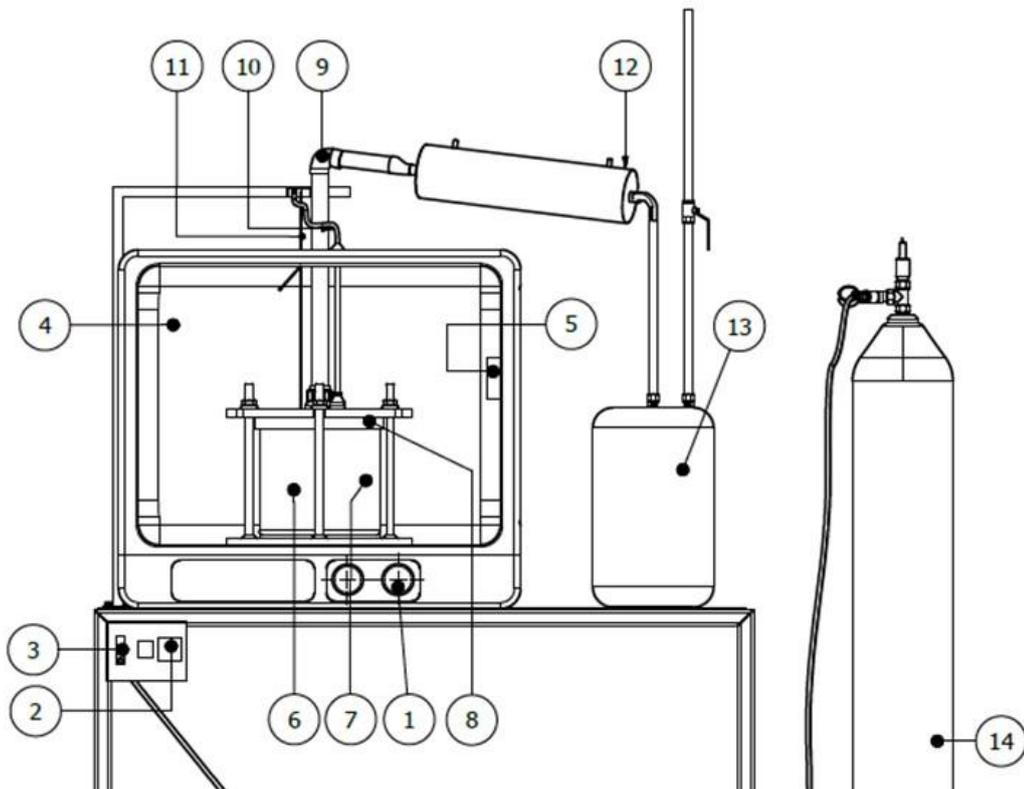
Untuk memudahkan pemahaman mengenai inti invensi ini, selanjutnya akan diuraikan perwujudan invensi melalui gambar-gambar sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 hingga 5 Gambar 4.

Gambar 1, merupakan tampak depan peralatan yang digunakan untuk proses pirolisis limbah berbasis energi gelombang mikro. Peralatan meliputi *microwave oven*, reaktor hibrida, dan peralatan-peralatan pendukung yang terkait dengan invensi ini.

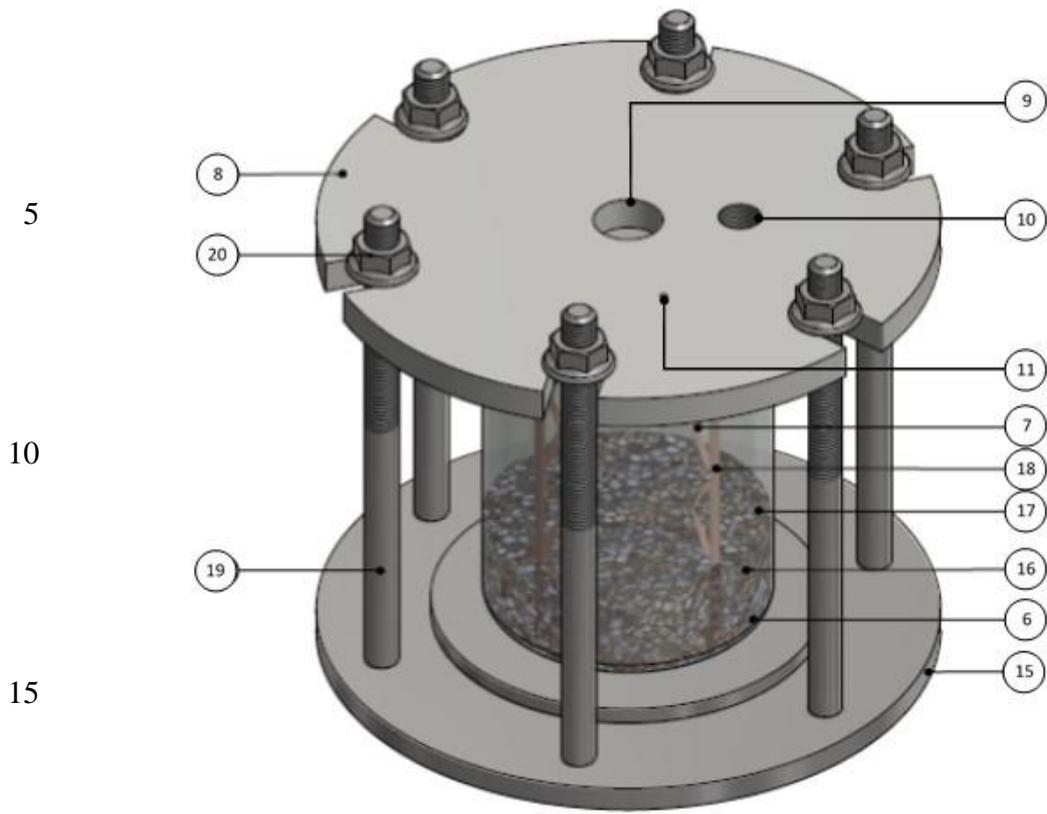
Gambar 2, adalah gambar 3D konstruksi/susunan reaktor hibrida beserta komponen-komponennya termasuk tutup dan dudukan reaktor.

Gambar 3, merupakan gambar 3D struktur bagian dalam reaktor hibrida yang mengandung bahan absorber dan elektroda pembangkit *plasma discharge*.

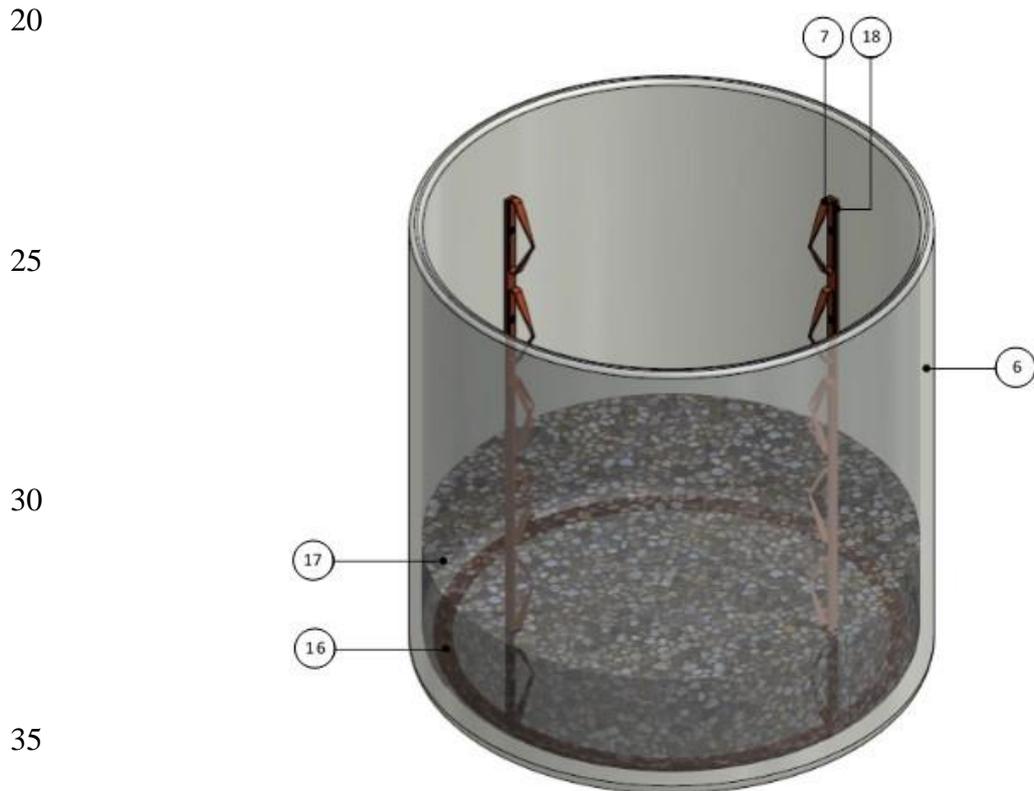
Gambar 4, adalah gambar 3D konstruksi elektroda dan *holder* pembangkit *plasma discharge*.



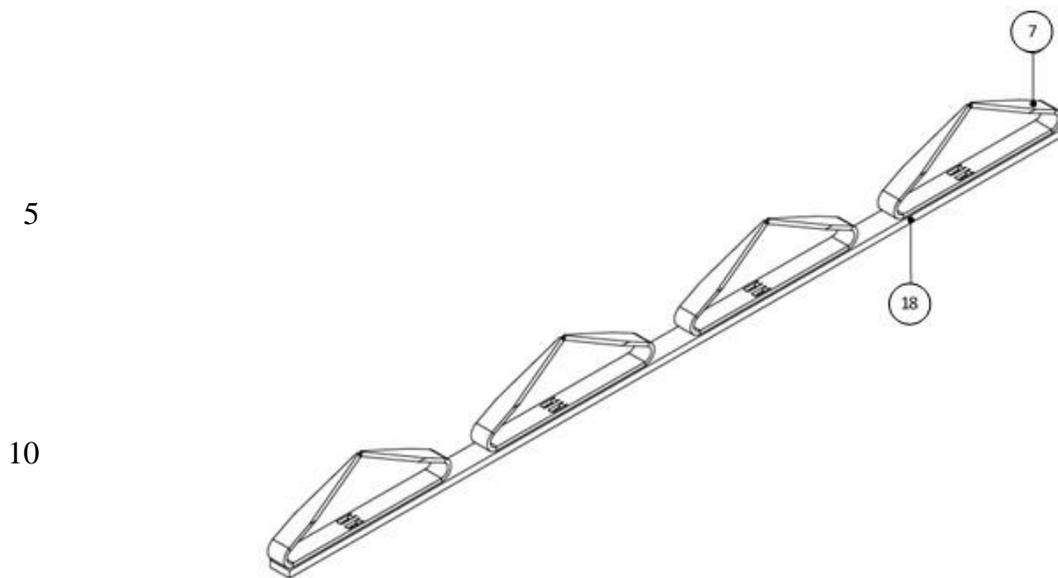
20 Gambar 1. Reaktor pirolisis hibrida berbasis energi gelombang mikro dan komponen pendukungnya



Gambar 2. Reaktor hibrida dengan tutup dan dudukan reaktor



Gambar 3. Reaktor hibrida mengandung bahan absorber dan elektroda pembangkit *plasma discharge*



Gambar 4. Elektroda dan *holder* pembangkit *plasma discharge*

Uraian Lengkap Invensi

Distribusi temperatur pada proses pengolahan limbah yang dilakukan dengan menggunakan *microwave* sebagai sumber energi kalor sejatinya terjadi kurang merata, dimana temperatur tertinggi berada pada bagian tengah pada limbah yang dipanaskan di dalam suatu reaktor. Kasus ini terjadi secara signifikan jika menggunakan ukuran reaktor yang besar dengan diameter lebih besar dari panjang gelombang *microwave* yaitu 12,24 cm. Pada kasus lain, pemanasan limbah yang dilakukan dengan menggunakan pemanas konvensional seperti *electric heater* juga terjadi kurang merata, dimana temperatur tertinggi didapat pada bagian luar limbah yang dipanaskan atau pada bagian limbah yang paling berdekatan dengan dinding reaktor. Kedua kasus tersebut memiliki distribusi temperatur yang tidak homogen/merata yang berakibat kepada rendahnya perolehan produk dan efisiensi termal reaktor. Dengan menggunakan reaktor hibrida yang didesain secara khusus yang mana mengkombinasikan pemanasan *microwave absorption* dan *microwave plasma*, maka akan didapatkan pemanasan yang lebih merata pada setiap bagian reaktor dan limbah yang dipanaskan.

Peralatan ini mempunyai beberapa komponen utama sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, seperti *microwave*

oven, reaktor hibrida dan peralatan pendukung. Pada bagian *microwave*, terdapat beberapa komponen seperti: *microwave power and timer controller* **1**, yang berfungsi untuk mengontrol daya *microwave* dan durasi waktu pemanasan bahan limbah di dalam *microwave*; *microwave temperature controller* **2**, berfungsi untuk mengatur temperatur pirolisis yang diinginkan di dalam reaktor; flow meter **3**, berfungsi untuk mengukur dan mengatur laju aliran gas nitrogen sebagai *inert* dan *carrier gas*; ruang pemanas (*cavity*) **4**, berfungsi untuk meletakkan reaktor hibrida yang mengandung limbah yang akan diproses; magnetron **5**, yaitu bagian inti dari *microwave* yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi radiasi gelombang mikro.

Pada bagian reaktor hibrida sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2-4, terdapat beberapa komponen seperti: reaktor/bejana **6**, yaitu sebagai tempat limbah yang akan diproses. Bagian ini dirancang agar dapat menampung limbah padat atau cair untuk diproses secara pirolisis. Reaktor/bejana **6** ini harus tahan terhadap temperatur dan tekanan tinggi. Reaktor ini dapat terbuat dari bahan keramik atau kaca kuarsa yang memiliki sifat transparan terhadap energi gelombang mikro; Elektroda **7**, yaitu alat pembangkit *plasma discharge* gelombang mikro, komponen ini berfungsi untuk menyerap energi gelombang mikro yang dihasilkan oleh magnetron **5** pada *microwave*, kemudian mengubah energi gelombang mikro tersebut menjadi *plasma discharge* di antara celah logam tersebut. *Plasma discharge* tersebut digunakan untuk memanaskan limbah padat ataupun cair. Elektroda **6**, dibuat dari plat logam dengan dimensi dan bentuk tertentu seperti pada Gambar 4, yang ditempatkan di sekeliling dinding reaktor **6** seperti ditunjukkan pada Gambar 3; Tutup reaktor **8**, didesain agar dapat dibuka atau ditutup kembali, sehingga memungkinkan untuk memasukkan bahan limbah atau membongkar limbah sisa pirolisis dengan mudah; Saluran hasil produk **9**, yaitu komponen yang digunakan sebagai jalan keluar uap hasil pirolisis dalam reaktor **6**. Uap tersebut disalurkan dari *outlet* menuju kondenser **12**, saluran tersebut berada pada tutup reaktor **8**

bagian atas; Saluran masuk **10**, berfungsi sebagai saluran untuk memasukkan bahan limbah yang akan diproses di dalam reaktor. Saluran masuk terhubung dengan *feeder* (pengumpan) atau penampung bahan limbah dan gas nitrogen **14**; Bahan absorber **17**, berfungsi untuk menyerap energi *microwave* dan mengkonversinya menjadi panas di dalam reaktor **6**. Absorber **17** dicampur dengan limbah yang diproses; dan Termokopel **11**, yaitu sensor yang digunakan untuk mengetahui temperatur dalam reaktor **6**.

10 Peralatan pendukung lain seperti kondenser **12**, dibutuhkan untuk mengubah uap panas menjadi zat cair sebagai hasil produk. *Liquid collector* **13** juga dibutuhkan untuk mengumpulkan cairan yang telah dihasilkan dari proses kondensasi. Peralatan lain seperti nitrogen *cylinder* **14**

15 juga dibutuhkan sebagai penyuplai *inert gas* untuk menghindari terjadinya oksidasi hasil produk dan juga digunakan sebagai *carrier gas* untuk membawa/mendorong hasil produk mengalir melalui kondenser **12** dan *liquid collector* **13**.

20 Proses pengolahan limbah menggunakan reaktor hibrida berbantuan *microwave* dilakukan dengan cara: (a) memasukkan bahan limbah ke dalam reaktor/bejana **6**; (b) memasukkan bejana **6** ke dalam *microwave cavity* **4**; (c) mengatur temperatur untuk proses pirolisis menggunakan *microwave*

25 *temperature controller* **2**; (d) mengatur laju aliran gas nitrogen menggunakan flow meter **3**; (e) menyalakan *microwave* dengan daya tertentu. Setelah *microwave* menyala, magnetron **5** akan merubah energi listrik menjadi radiasi gelombang mikro, energi tersebut akan ditransmisikan menuju elektroda

30 **7** dan bahan absorber **17**. Elektroda **7** tersebut akan menerima radiasi gelombang mikro sehingga pada ujung elektroda **7** akan terjadi *plasma discharge* untuk memanaskan limbah dalam reaktor **6** terutama dekat dinding reaktor. Selain panas yang dihasilkan oleh *plasma discharge*, panas juga dihasilkan

35 oleh absorber **17** dalam reaktor **6** yang menyerap *microwave* terutama pada bagian tengah reaktor. Dengan demikian, temperatur pada bahan limbah yang diproses akan lebih merata dan maksimal.

Uap hasil pemanasan limbah akan keluar melewati *outlet*/saluran keluar **9** sebagai produk. Uap tersebut disalurkan menuju kondenser **12** untuk diubah menjadi zat cair. Pendinginan uap pada kondenser **12** diproses dengan memanfaatkan air es sebagai pendingin. Air es tersebut dimasukkan melalui saluran masuk ke dalam celah/rongga dinding kondenser. Air es tersebut akan mendinginkan uap panas sehingga uap tersebut berubah menjadi zat cair. Air es tersebut diganti secara berkala untuk menjaga suhu pendinginan tetap stabil. Cairan hasil kondensasi tersebut ditampung di dalam *liquid collector* **13** sebagai hasil produk. Uap/gas yang tidak terkondensasi dikeluarkan melalui pipa keluar atau dikumpulkan dalam penampung gas.

15 **Klaim**

1. Suatu peralatan untuk mengolah berbagai limbah (padat dan cair) secara pirolisis dengan menggunakan reaktor hibrida berbasis energi gelombang mikro, yang mana mengkombinasikan pemanasan *microwave absorption* dan *microwave plasma* agar menghasilkan pemanasan yang merata pada limbah di dalam reaktor. Peralatan meliputi *microwave oven*, reaktor hibrida, dan peralatan tambahan seperti kondensor, *liquid collector*, dan nitrogen *cylinder*.
2. Peralatan klaim nomor 1, sebuah *microwave oven* yang memiliki ruang pemanas (*cavity*) yaitu ruang yang memungkinkan untuk menampung sebuah reaktor hibrida yang pemanasannya merupakan kombinasi pemanasan *microwave absorption* dan *microwave plasma*.
3. Peralatan klaim nomor 1, sebuah *microwave oven* yang memiliki magnetron yang mampu merubah energi listrik menjadi radiasi gelombang mikro, yang kemudian gelombang tersebut ditransmisikan ke reaktor hibrida, sehingga akan terjadi kombinasi pemanasan *microwave absorption* dan *microwave plasma*.

4. Peralatan pada klaim nomor 1, sebuah *microwave oven* yang dilengkapi dengan *microwave power and timer controller*, yang berfungsi untuk mengontrol daya dan durasi waktu atau lama pemanasan bahan limbah di dalam reaktor.
5
5. Peralatan pada klaim nomor 1, sebuah *microwave oven* yang dilengkapi dengan *microwave temperature controller*, yaitu komponen yang berfungsi untuk mengatur temperatur yang diinginkan untuk proses pirolisis di dalam reaktor.
10
6. Peralatan klaim nomor 1, sebuah *microwave oven* yang dilengkapi dengan flow meter. Alat ini digunakan untuk mengatur laju aliran gas nitrogen yang mengalir ke reaktor hibrida menuju kondenser. Dengan diketahui data gas nitrogen yang mengalir, maka waktu tinggal produk hasil dekomposisi limbah dalam reaktor hibrida dapat disesuaikan.
15
7. Peralatan klaim nomor 1, sebuah reaktor hibrida yang digunakan untuk menampung limbah padat ataupun cair. Reaktor dibuat dari bahan yang tahan temperatur tinggi dan bersifat transparan terhadap radiasi gelombang mikro dengan baik. Dalam reaktor ini limbah akan dipanaskan pada temperatur yang cukup tinggi.
20
8. Peralatan klaim nomor 7, sebuah reaktor hibrida yang memiliki tutup reaktor. Tutup didesain agar dapat dibuka atau ditutup kembali dengan rapat, sehingga memungkinkan untuk memasukkan bahan limbah dan mengeluarkan bahan limbah itu kembali setelah selesai proses.
25
9. Peralatan klaim nomor 7, sebuah reaktor hibrida yang dilengkapi dengan elektroda yaitu alat pembangkit *microwave plasma discharge*, terbuat dari logam yang memiliki konduktivitas tinggi. Komponen ini berfungsi untuk menyerap energi gelombang mikro yang dihasilkan
30

- magnetron pada *microwave*. Aliran energi gelombang mikro tersebut diubah menjadi plasma pada ujung/celah elektroda. *Plasma discharge* tersebut digunakan untuk memanaskan bahan limbah, sehingga menghasilkan uap panas.
- 5
10. Peralatan klaim nomor 9, elektroda memiliki 16 ujung/celah pembangkit plasma. Elektroda-elektroda tersebut ditempatkan pada reaktor yang diikat dengan plat penyangga.
- 10 11. Peralatan klaim nomor 9, terdapat 16 ujung/celah pembangkit plasma yang diletakkan pada empat buah plat logam yang masing-masing memiliki empat ujung/celah pembangkit plasma.
- 15 12. Peralatan klaim nomor 9, terdapat empat buah plat logam sebagai *holder* atau tempat ujung/celah pembangkit plasma, diletakkan pada empat sisi dinding pada bagian dalam reaktor, tujuannya adalah agar dapat memperoleh pemanasan yang merata.
- 20 13. Peralatan klaim nomor 7, sebuah reaktor hibrida yang dilengkapi dengan bahan absorber yaitu bahan yang memiliki nilai *loss tangent* yang tinggi. Bahan ini berfungsi untuk menyerap energi gelombang mikro yang dihasilkan magnetron pada *microwave*. Aliran energi gelombang mikro tersebut diubah menjadi panas yang digunakan untuk memanaskan bahan limbah, sehingga menghasilkan uap panas.
- 25 14. Peralatan klaim nomor 13, beberapa bahan absorber yang dapat digunakan adalah arang aktif, silikon karbida, logam magnetik, dan lain-lain.
- 30 15. Peralatan klaim nomor 13, bahan absorber yang digunakan diutamakan berbentuk partikel.
16. Peralatan klaim nomor 7, sebuah reaktor hibrida yang memiliki saluran masuk. Komponen ini memungkinkan untuk digunakan sebagai saluran masuk *carrier gas* ke dalam

reaktor. Saluran masuk juga terhubung dengan pengumpan bahan baku atau penampung limbah yang akan diproses.

17. Peralatan klaim nomor 7, sebuah reaktor hibrida yang memiliki saluran keluar (saluran hasil produk).
5 Komponen ini digunakan sebagai saluran untuk mengalirkan uap panas menuju kondenser. Saluran tersebut berada pada tutup reaktor.
18. Peralatan klaim nomor 7, sebuah reaktor hibrida yang memiliki termokopel. Termokopel digunakan sebagai
10 sensor untuk mengetahui temperatur proses dalam reaktor.
19. Peralatan klaim nomor 1, sebuah kondenser yang berfungsi untuk mengubah uap panas menjadi produk
15 cairan. Setelah menjadi zat cair, produk akan disalurkan menuju *liquid collector* untuk ditampung.
20. Peralatan klaim nomor 19, pendinginan uap pada kondenser diproses dengan memanfaatkan air dingin/es, air es tersebut dimasukkan ke dalam celah/rongga pada dinding kondenser melalui saluran masuk, dan ketika
20 suhu air pendingin sudah tidak sesuai dengan suhu untuk mendinginkan uap, air tersebut dikeluarkan lewat saluran keluar, kemudian diisi kembali dengan air es yang baru.
21. Peralatan klaim nomor 1, sebuah *liquid collector* yang
25 berfungsi untuk menampung cairan hasil produk.
22. Peralatan klaim nomor 1, sebuah nitrogen *cylinder*, berfungsi sebagai penyuplai *inert gas* yaitu nitrogen untuk menghindari terjadinya oksidasi hasil produk selama proses pirolisis. Gas nitrogen juga digunakan
30 sebagai *carrier gas* untuk membawa produk uap panas dari reaktor menuju kondenser dan *liquid collector*. Produk gas yang tidak terkondensasi dapat dikompresi atau ditampung menggunakan *gas bag*.

Abstrak**REAKTOR PIROLISIS HIBRIDA BERBASIS ENERGI GELOMBANG MIKRO
UNTUK PRODUKSI BAHAN BAKAR DARI BERBAGAI LIMBAH**

5 Alat ini merupakan alat yang digunakan untuk mengolah
berbagai limbah baik padat maupun cair secara pirolisis
dengan mengkombinasikan pemanasan *microwave absorpction* dan
microwave plasma secara simultan, sehingga menghasilkan
pemanasan yang merata. Peralatan terdiri dari sebuah
10 *microwave oven* yang dilengkapi dengan *microwave power and
timer controller, microwave temperature controller, cavity,*
magnetron, dan *flow meter.* *Microwave oven* dikombinasikan
dengan reaktor hibrida yang memiliki komponen
reaktor/bejana, tutup reaktor, saluran hasil produk,
15 elektroda, bahan absorber, dan termokopel. Peralatan juga
memiliki peralatan tambahan seperti kondenser, *liquid
collector,* dan *nitrogen cylinder.*

20

25

30

35