



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 Paten kepada:

Nama dan Alamat
Pemegang Paten

: LPPM UNIVERSITAS DIPONEGORO
Jl. Prof. Soedarto, SH., Kampus Undip,
Tembalang, Semarang 50275,
INDONESIA

Untuk Invensi dengan
Judul

: PROSES TERINTEGRASI PLASMA-KATALITIK UNTUK
MENGHASILKAN BAHAN BAKAR DARI SAMPAH
PLASTIK

Inventor

: Dr. Istadi, ST., MT
Dr. Ir. Didi Dwi Anggoro, M.Eng
Luqman Buchori, ST., MT

Tanggal Penerimaan

: 16 Desember 2011

Nomor Paten

: IDP000045999

Tanggal Pemberian

: 19 Mei 2017

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.



00-2017-183719

a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
REPUBLIK INDONESIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

u.b.

Direktur Paten, Desain Tata Letak
Sirkuit Terpadu dan Rahasia Dagang,

Ir. Timbul Sinaga, M.Hum.
NIP. 196202021991031001

(12) PATEN INDONESIA

(11) IDP000045999 B

(19) DIREKTORAT JENDERAL
KEKAYAAN INTELEKTUAL

(45) 19 Mei 2017

(51) Klasifikasi IPC⁸ : B 01J 19/00, 19/18, C 07C 1/00, F 23G 5/00

(21) No. Permohonan Paten : P00201100950

(2) Tanggal Penerimaan: 16 Desember 2011

Data Prioritas :

(31) Nomor (32) Tanggal (33) Negara

Tanggal Pengumuman: 27 Juni 2013

Dokumen Pembanding:

3 4.108.730

2001/0056214 A1

6.184.427 B1

7.752.983 B2

(71) Nama dan Alamat yang Mengajukan Permohonan Paten :
LPPM UNIVERSITAS DIPONEGORO
Jl. Prof. Soedarto, SH., Kampus Undip,
Tembalang, Semarang 50275,
INDONESIA

(72) Nama Inventor :
Dr. Istadi, ST., MT, ID
Dr. Ir. Didi Dwi Anggoro, M.Eng, ID
Lüqman Buchori, ST., MT, ID

(74) Nama dan Alamat Konsultan Paten :

Pemeriksa Paten : Ir. Susilo Wardoyo

Jumlah Klaim : 3

Judul: PROSES TERINTEGRASI PLASMA-KATALITIK UNTUK MENGHASILKAN BAHAN BAKAR DARI SAMPAH PLASTIK

Menyediakan proses terintegrasi plasma - katalitik untuk perengkahan plastik atau sampah plastik menjadi bahan bakar. Proses terintegrasi ini terdiri dari sistem pre-treatment menggunakan reaktor plasma untuk merusak terlebih dahulu polimer, dan dilanjutkan proses perengkahan katalitik di dalam reaktor katalitik konvensional. Reaktor plasma dapat mempercepat proses perengkahan katalitik sehingga waktu yang dibutuhkan oleh proses katalitik berikutnya menjadi lebih singkat. Proses perengkahan dalam reaktor plasma adalah elektron-elektron berenergi tinggi mengalir dari elektroda tegangan tinggi menuju elektroda lainnya. Elektron-elektron ini akan berinteraksi dengan molekul-molekul bahan polimer mampu memecah beberapa struktur ikatan kimia di dalam struktur polimer. Reaktor katalitik adalah berupa reaktor jenis *fixed bed* berisi katalis dan sampel plastik dimana perengkahan polimer plastik akan dibantu katalis pada suhu 400 - 600 °C.



Deskripsi

PROSES TERINTEGRASI PLASMA - KATALITIK UNTUK MENGHASILKAN BAHAN BAKAR DARI SAMPAH PLASTIK

5

Bidang Teknik Invensi

Invensi ini berhubungan dengan suatu proses terintegrasi plasma-katalitik untuk menghasilkan bahan bakar cair/gas dari sampah plastik, lebih khusus lagi invensi ini berhubungan dengan metode pembuatan bahan bakar cair/gas (*gasoline* atau bensin jenis *premium*) dari bahan plastik atau sampah plastik jenis polipropilene dan/atau polietilena menggunakan proses perengkahan terintegrasi plasma-katalitik.

15 **Latar Belakang Invensi**

Metode konvensional yang biasa digunakan untuk pendegradasian plastik adalah dengan perengkahan termal (*perengkahan termal*) sebagaimana telah diteliti oleh Palafox et al. (2001) dan sudah dipatenkan oleh Nil et al. (US Patent 7,847,136). Palafox et al. (2001) masih menggunakan cara konvensional tanpa katalis dan memerlukan suhu cukup tinggi sekitar 500 - 700°C. Suhu operasi ini masih terlalu tinggi dan energi yang digunakan relatif besar, sehingga diperlukan biaya operasi yang relatif lebih mahal. Disamping itu, proses dengan perengkahan termal menghasilkan bahan bakar cair yang kurang baik kualitasnya (masih bercampur dengan wax sehingga tidak jernih). Untuk mengatasi hal ini maka para peneliti sebelumnya menggunakan proses katalitik pada reaksi tersebut dengan tujuan penurunan suhu operasi. Dari proses tersebut dapat dihasilkan suatu bahan bernilai jual tinggi yang berupa bahan bakar cair dan/atau gas.

Beberapa teknologi proses perengkahan katalitik telah dipublikasikan di beberapa jurnal ilmiah (Pinto et al., 1999; Palafox et al., 2001; Park et al., 2003; Serrano et al., 2005), dan di beberapa patent (US Patent 6,423,878; US Patent 4,108,730). Pinto et al. (1999) telah melaporkan proses perengkahan plastik katalitik dengan menggunakan katalis Fe_2O_3 dengan konversi mencapai 90% dengan suhu operasi 415 °C dan waktu sekitar 20 menit. Karagoz et al. (2002) telah menggunakan katalis komersial Co-Ac,

35



DHC-8, dan HZSM-5 untuk menghasilkan yield produk bahan bakar cair pada kisaran 95 - 98%, dengan suhu operasi 425, 435, 450 °C dan waktu 2 jam. Park *et al.* (2003) menggunakan katalis BaO untuk menghasilkan yield produk 73,2%, dengan suhu operasi 350 °C.

5 Serrano *et al.* (2005) telah menggunakan katalis HZSM-5 untuk menghasilkan yield produk 80% dengan suhu operasi 340 °C dan waktu reaksi 2 jam. Dari beberapa penelitian terdahulu tersebut dapat diketahui bahwa konsumsi energi yang dibutuhkan untuk proses perengkahan katalitik konvensional polimer adalah cukup besar. Hal

10 ini dapat dilihat dari suhu operasi yang masih relatif tinggi dan lama waktu konversinya. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu teknologi alternatif untuk memperbaikinya.

Sementara itu, plasma dapat didefinisikan sebagai campuran gas yang mengandung elektron-elektron, atom-atom dan

15 molekul-molekul yang taksitasi dan yang terionisasi, gugus radikal, foton dan partikel netral. Elektron-elektron tersebut mempunyai energi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan partikel gas netral. Beberapa peneliti menyebutkan bahwa plasma merupakan fasa ke-empat di dunia ini setelah padat, cair, dan gas.

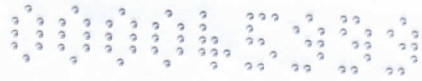
20 Plasma ini disebut juga dengan *non-equilibrium* plasma karena terdapat perbedaan suhu atau energi yang signifikan antara elektron-elektron dan partikel-partikel netral. Suhu gas adalah relatif rendah (dalam rentang suhu kamar hingga ratusan derajat Kelvin), sedangkan suhu elektron dapat mencapai 10000 - 100000 K

25 (Istadi & Amin, 2006; Caldwell *et al.*, 2001; Eliasson & Kogelschatz, 1991).

Teknologi reaktor plasma dapat memperbaiki kinerja konversi atau perengkahan tersebut dengan cara merusak struktur polimer plastik terlebih dahulu sehingga waktu yang dibutuhkan oleh proses

30 perengkahan katalitik konvensional menjadi relatif lebih singkat. Inovasi sebelumnya pada proses perengkahan polimer dengan bantuan *microwave* telah dilakukan oleh Klepfer *et al.* (US Patent 6,184,427) dimana dalam inovasi ini tenaga yang dipakai untuk perengkahan adalah menggunakan gelombang mikro (*microwave*).

35 Teknologi proses perengkahan dengan bantuan teknologi reaktor plasma masih sedikit peneliti yang melakukan. Kebanyakan reaktor plasma telah digunakan untuk konversi bahan buangan organik menjadi gas sintesa dan hidrokarbon yang lebih berguna (US Patent



7,752,983), atau konversi minyak pelumas (hidrokarbon berat) menjadi hidrokarbon ringan dan gas sintesa di dalam reaktor plasma (US Patent 7,632,394). Lebih jauh lagi, proses perengkahan plastik menjadi bahan bakar dengan konsep reaktor terintegrasi plasma-katalitik belum dipatenkan oleh peneliti sebelumnya. Konsep reaktor terintegrasi ini penting karena kedua tahapan tersebut saling mendukung satu sama lainnya.

Teknologi reaktor terintegrasi ini fokus pada implementasi reaktor terintegrasi plasma - katalitik pada proses perengkahan sampah plastik menjadi bahan bakar cair/gas. Beberapa variabel yang berpengaruh adalah jarak antar elektroda, lamanya waktu polimer kontak dengan elektron berenergi tinggi (lama waktu *charging*), besarnya tegangan tinggi pada reaktor plasma, suhu reaktor katalitik, perbandingan berat antara katalis dan sampel plastik, dan lama waktu reaksi pada reaktor katalitik.

Ringkasan Invensi

Invensi ini fokus kepada proses terintegrasi plasma - katalitik untuk perengkahan plastik atau sampah plastik menjadi bahan bakar cair/gas. Konsep dasar proses terintegrasi ini terdiri dari sistem *pre-treatment* menggunakan reaktor plasma untuk merusak terlebih dahulu struktur ikatan kimia polimer (proses tahap pertama), dan dilanjutkan proses perengkahan katalitik di dalam reaktor katalitik konvensional (proses tahap kedua). Teknologi reaktor plasma dapat memperbaiki kinerja perengkahan katalitik sehingga waktu yang dibutuhkan oleh proses katalitik berikutnya menjadi lebih singkat.

Proses tahap pertama (di dalam reaktor plasma) terdiri dari:

- a. mula-mula sampel plastik diletakkan diantara kedua elektroda (elektroda tegangan tinggi dan elektroda ground)
- b. Jarak antara kedua elektroda tersebut diatur sesuai dengan kondisi proses (1 - 20 cm).
- c. Potongan plastik tersebut dapat dipanaskan hingga mencair (untuk memudahkan *treatment* plasma) atau tidak dipanaskan.
- d. Sumber tegangan tinggi (*high voltage power supply*) dihidupkan sehingga tegangan mencapai tegangan yang



diinginkan (5 - 40 kV dan/atau 20 - 200 watt). Kombinasi besarnya tegangan listrik dan jarak antar elektroda diatur sehingga dapat dipastikan tidak terjadi arc.

- 5 e. Elektron berenergi tinggi mengalir dari elektroda tegangan tinggi menuju ke elektroda tegangan rendah dan bertumbukan dengan sampel plastik. Elektron-elektron tersebut dapat merusak struktur ikatan kimia (karbon-karbon) di dalam reaktor plasma
- 10 tersebut.
- f. Kontak tersebut (tahapan d) dibiarkan hingga lama waktu tertentu (waktu charging) (1 - 60 menit).
- g. Setelah lama waktu charging tercapai maka sumber tegangan tinggi dimatikan.

15

Proses tahap kedua, di dalam reaktor katalitik konvensional terdiri dari:

- a. Mula-mula katalis dan sampel plastik disusun di dalam reaktor katalitik, dimana katalis dibagi menjadi dua bagian dan diletakkan di bawah dan di atas sampel plastik.
- 20 b. Gas nitrogen dialirkan dengan laju alir 100 - 200 cm³/menit untuk menghilangkan gas-gas yang berasal dari udara yang mengandung oksigen.
- 25 c. Setelah aliran gas nitrogen dihentikan, tungku elektrik dihidupkan untuk memanasi reaktor sehingga suhu reaktor mencapai 400 - 550 °C dan dibiarkan hingga waktu perengkahan yang ditentukan selesai (1 - 30 menit). Pemakaian suhu yang lebih tinggi sebaiknya
- 30 dihindari karena pada suhu tinggi katalis menjadi tidak efektif dan perengkahan termal menjadi lebih dominan dibandingkan dengan perengkahan katalitik.
- d. Perbandingan berat katalis / sampel plastik adalah 0,5 - 3,5 gram katalis per gram sampel plastik.
- 35 e. Sampel plastik meleleh pada suhu reaktor di atas (klaim c) dan kontak dengan butiran katalis.
- f. Lelehan plastik terengkah pada suhu tersebut dan menguap ke atas sehingga kontak dengan katalis bagian



atas. Proses perengkahan juga terjadi di katalis bagian atas. Katalis bagian atas berfungsi untuk menyempurnakan proses perengkahan yang dilakukan di katalis bagian bawah.

5 g. Uap hasil perengkahan didinginkan di sebuah kondensor sehingga produk bahan bakar cair terkondensasi. Suhu cairan pendingin adalah antara 0 - 10 °C.

10 h. Bahan bakar cair yang terkondensasi dipisahkan di sebuah penjerap cairan dan ditampung di penampung cairan (produk bahan bakar cair), sedangkan gas yang tidak terkondensasi di tampung di penampung gas (produk bahan bakar gas).

15 i. Setelah waktu perengkahan selesai, maka tungku dimatikan dan ditunggu hingga reaktor dingin dan dibuka.

20 j. Setelah reaksi perengkahan katalitis selesai, maka sisa residu (padatan) dikeluarkan dan ditampung dan katalis yang sudah dipakai juga dikeluarkan dan ditampung.

25 Katalis dapat terdiri dari katalis zeolit komersial (H-ZSM5, HY dan HX) atau kombinasi daripadanya atau dibuat dengan memodifikasi katalis bekas dari proses perengkahan katalitik residual.

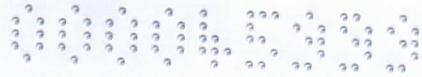
25 **Uraian Singkat Gambar**

Gambar 1, adalah konsep dasar proses perengkahan terintegrasi plasma - katalitik untuk konversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair/gas sesuai dengan invensi ini.

30 Gambar 2, adalah hasil karakterisasi FT-IR produk bahan bakar cair sesuai dengan invensi ini.

Uraian Lengkap Invensi

35 Proses terintegrasi plasma - katalitik untuk perengkahan plastik atau sampah plastik sesuai dengan invensi ini digunakan untuk memproduksi bahan bakar cair/gas. Konsep proses terintegrasi ini terdiri dari dua tahap utama, yaitu: (1). sistem pra-pengolahan menggunakan reaktor plasma untuk merusak terlebih dahulu struktur



ikatan kimia polimer, dan (2). dilanjutkan pada proses perengkahan katalitik di reaktor konvensional untuk memotong ikatan-ikatan polimer menjadi monomer dengan rentang karbon tertentu. Pada tahap proses pertama, bahan plastik diolah terlebih dahulu di dalam reaktor plasma dengan mengontakkan bahan plastik tersebut dengan elektron-elektron berenergi tinggi yang dihasilkan oleh reaktor plasma yang mengalir dari elektroda tegangan tinggi menuju ke elektroda ground. Pada tahap kedua, plastik yang sudah dirusak di reaktor plasma direngkah secara katalitik di dalam reaktor katalitik konvensional untuk menghasilkan bahan bakar cair dan/atau gas. Konsep dasar proses ini dapat digambarkan secara skematis di Gambar 1.

Reaktor yang digunakan di dalam proses ini terdiri dari reaktor plasma dan reaktor katalitik konvensional yang terintegrasi yang terdiri dari sistem pretreatment di dalam reaktor plasma dengan tujuan untuk merusak terlebih dahulu ikatan kimia di dalam sistem polimer untuk memudahkan pemotongan ikatan kimia selanjutnya (tahap 1), dilanjutkan dengan proses perengkahan di dalam reaktor katalitik konvensional (tahap 2).

Pada tahap proses pertama (di dalam reaktor plasma), elektron yang berenergi tinggi yang mengalir dari elektroda tegangan tinggi menuju elektroda ground dapat memecah ikatan kimia di dalam polimer (misalnya antara C-H, C=O, dan lain-lain) tergantung pada kandungan energi dari elektron tersebut yang ditentukan oleh daya atau tenaga plasma dan besarnya energi ikatan kimia dari gas, cairan, atau polimer. Jika aliran elektron berenergi tinggi bertumbukan dengan molekul gas atau cairan atau polimer plastik, maka akan terjadi pemecahan ikatan kimia yang menghasilkan elektron yang berenergi tinggi pula. Elektron-elektron yang dihasilkan tersebut dipercepat ketika melewati medan listrik tegangan tinggi hingga mencapai kondisi banjir elektron (*electron avalanche*) yang akan menuju ke elektroda ground. Jika medan listrik cukup besar untuk menyebabkan pemecahan ikatan kimia gas atau cairan atau padatan, maka sejumlah besar *microdischarge* akan dihasilkan yang mengalir dari elektroda tegangan tinggi menuju ke elektroda ground. Peningkatan energi internal di dalam molekul karena tumbukan dengan elektron berenergi tinggi akan mempengaruhi energi aktivasi untuk terjadinya reaksi kimia sehingga dapat



memacu terbentuknya molekul produk baru. Jika elektron berenergi tinggi ini bertumbukan dengan molekul-molekul polimer (plastik) maka akan terjadi pemecahan atau perengkahan ikatan rantai karbon yang ada menjadi hidrokarbon pendek.

5 Elektron berenergi tinggi mengalir dari elektroda tegangan tinggi (*high voltage electrode*) menuju ke elektroda *ground*. Hal tersebut menimbulkan tumbukan antara elektron berenergi tinggi dengan molekul-molekul gas atau cairan atau padatan yang akan diproses. Tumbukan ini dapat menghasilkan suatu keadaan metastabil dan ion-ion yang berenergi atau rusaknya struktur ikatan kimia di 10 dalam molekul polimer. Pra-pengolahan polimer plastik dengan teknologi plasma bertujuan mengubah atau merusak struktur dan ikatan kimia di dalam polimer sehingga polimer lebih mudah terpotong menggunakan katalis dalam proses perengkahan 15 selanjutnya. Jarak antar elektroda, lamanyawaktu polimer kontak dengan elektron berenergi tinggi (lama waktu pengisian) besarnya tegangan tinggi pada reaktor plasma, suhu reaktor katalitik, perbandingan berat antara katalis dan sampel plastik, dan lama waktu reaksi pada reaktor katalitik mempengaruhi kinerja reaktor 20 terintegrasi plasma-katalitik. Potongan plastik tersebut dapat dipanaskan hingga mencair (untuk memudahkan *treatment* plasma) atau tidak dipanaskan.

Reaktor plasma pada proses tahap pertama terdiri dari komponen-komponen antara lain: elektroda tegangan tinggi, 25 elektroda *ground*, *housing* reaktor plasma, pengatur jarak antar elektroda, sumber daya voltase tinggi, *probe* (batang) voltase tegangan tinggi, sumber arus listrik AC 220-240 Volt, dan osiloskop. Tenaga elektron berenergi tinggi dihasilkan oleh sebuah atau beberapa buah sumber daya voltase tinggi (tegangan listrik 30 antara 5 - 40 kV dan/atau 20 - 200 watt) yang mengalir dari elektroda tegangan tinggi menuju elektroda *ground* sehingga bertumbukan dengan molekul- molekul bahan polimer plastik. Elektron berenergi tinggi tersebut mampu memecah ikatan kimia karbon-karbon di dalam struktur polimer. Dengan demikian, beban energi yang diperlukan 35 untuk pemutusan ikatan kimia karbon-karbon berikutnya menjadi lebih rendah sehingga diperlukan suhu reaktor katalitik yang lebih rendah dan/atau lama waktu proses perengkahan katalitik yang lebih singkat.



Pada reaktor plasma (tahap pertama), mula-mula sampel plastik diletakkan diantara kedua elektroda. Jarak antar elektroda diatur sesuai kondisi proses (1 - 20 cm). Potongan plastik tersebut dapat dipanaskan hingga mencair (untuk memudahkan *treatment* plasma) atau tidak dipanaskan. Sumber tegangan tinggi (high voltage power supply) dihidupkan sehingga tegangan mencapai tegangan yang diinginkan (5 - 40 kV dan/atau 20 - 200 watt). Selanjutnya, elektron berenergi tinggi mengalir dari elektroda tegangan tinggi menuju ke elektroda tegangan rendah menumbuk sampel plastik. Elektron tersebut merusak struktur ikatan kimia (karbon-karbon) di dalam reaktor plasma tersebut. Kontak ini dibiarkan hingga lama waktu tertentu (waktu charging) (1 - 20 menit). Setelah lama waktu charging tercapai maka sumber tegangan tinggi dimatikan.

Pada tahap proses kedua (di dalam reaktor katalitik konvensional), reaktor katalitik terdiri dari pipa baja dari bahan stainless steel berukuran diameter 1 - 3 inchi panjang 30 - 50 cm. Pipa reaktor ini diletakkan di dalam tungku elektrik yang dapat dibuka dan ditutup yang dilengkapi dengan pemanas elektrik dan pengontrol suhu. Katalis diletakkan di dalam reaktor dengan konfigurasi sesuai dimana sampel plastik diletakkan diantara katalis bagian bawah dan katalis bagian atas. Untuk menahan katalis agar tidak jatuh maka diletakkan glasswool secukupnya. Katalis bagian atas dimaksudkan untuk merengkah lebih lanjut uap-uap lelehan polimer yang belum sempat direngkah oleh katalis bagian bawah sehingga rantai karbon dari hidrokarbon yang dihasilkan bisa lebih pendek.

Reaktor pipa baja digunakan untuk tempat terjadinya reaksi katalitik perengkahan lelehan plastik dengan bantuan katalis pada suhu tertentu. Tungku elektrik digunakan sebagai pemanas reaktor kimia untuk mencapai suhu tertentu dimana katalis dapat aktif. Pengendali suhu reaktor dimaksudkan untuk mengendalikan suhu reaktor agar sesuai dengan suhu yang diinginkan terjadinya perengkahan katalitik. *Flowmeter* digunakan untuk mengukur dan mengendalikan laju alir gas nitrogen yang digunakan untuk *flushing* tersebut. Kondensor yang diletakkan setelah reaktor dimaksudkan untuk mengkondensasi uap-uap lelehan plastik yang sudah direngkah secara katalitik menjadi produk cairan bahan bakar, sedangkan

sisa-sisa uap yang tidak terkondensasi dikumpulkan menjadi produk bahan bakar gas.

Mula-mula katalis dan sampel plastik disusun di dalam reaktor seperti dideskripsikan di atas. Gas nitrogen dialirkan dengan laju alir 200 cm³/menit untuk menghilangkan gas-gas yang berasal dari udara. Setelah aliran gas nitrogen dihentikan, tungku elektrik dihidupkan untuk memanasi reaktor sehingga suhu reaktor mencapai 400 - 600 °C hingga waktu perengkahan yang ditentukan selesai. Pemakaian suhu yang lebih tinggi sebaiknya dihindari karena pada suhu tinggi katalis menjadi tidak efektif dan perengkahan termal menjadi lebih dominan dibandingkan dengan perengkahan katalitik. Perbandingan berat katalis / sampel plastik adalah 0,5 - 3,5 gram katalis per gram sampel plastik. Sampel plastik meleleh pada suhu reaktor dan kontak dengan butiran katalis. Lelehan plastik terengkah pada suhu tersebut dan menguap ke atas sehingga kontak dengan katalis bagian atas. Uap hasil perengkahan didinginkan di sebuah kondensor sehingga produk bahan bakar cair terkondensasi. Bahan bakar cair yang terkondensasi dipisahkan di sebuah penjerap cairan dan ditampung, sedangkan gas yang tidak terkondensasi ditampung di penampung gas. Setelah waktu perengkahan selesai, maka tungku dimatikan dan ditunggu hingga reaktor dingin dan dibuka. Katalis dapat terdiri dari katalis zeolit komersial (H-ZSM5, HY, dan HX) atau dibuat dengan memodifikasi katalis bekas dari proses perengkahan katalitik residual. Modifikasi katalis dilakukan dengan beberapa cara berikut: (1). Pengeringan pada suhu 110 °C selama semalam dilanjutkan dengan kalsinasi katalis di tungku pada suhu 550 °C; (2). Perendaman katalis di dalam larutan HCl 0,1 N dilanjutkan pengeringan pada suhu 110 °C selama semalam dilanjutkan dengan kalsinasi katalis di dalam tungku pada suhu 550 °C; dan (3) Perendamam katalis di dalam larutan NH₄OH 0,1 N dilanjutkan pengeringan pada suhu 110 °C selama semalam dilanjutkan dengan kalsinasi katalis di dalam tungku pada suhu 550 °C.

Hasil-hasil pengujian perengkahan katalitik limbah plastik menjadi bahan 5 bakar cair/gas dapat dilihat di Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Identifikasi komponen dan komposisi hidrokarbon di dalam produk bahan bakar cair ditentukan menggunakan peralatan Gas Chromatography - Mass Spectroscopy (GC-MS).



Tabel 1. Hasil-hasil pengujian reaktor katalitik untuk konversi limbah plastik menjadi bahan bakar

Variabel Bebas				Variabel Terikat	
Run No	Suhu Reaktor (°C)	Suhu Kalsinasi (°C)	Rasio berat Katalis/ Plastik (g/g)	Yield Bahan Bakar Cair	Yield Bahan Bakar Gas
1	500	500	0.08	25.20	21.0
2	600	500	0.08	35.62	15.00
3	500	600	0.08	24.60	18.40
4	600	600	0.08	27.56	15.30
5	550	479	0.08	39.24	16.40
6	550	621	0.08	31.96	16.80
7	479	550	0.08	21.00	11.36
8	621	550	0.08	37.92	21.90
9	550	550	0.08	31.76	23.52
10	550	550	0.08	33.76	24.56
11	550	550	0.08	32.34	25.23
12	550	550	0.08	33.12	23.20
13	550	550	0.08	31.87	23.40
14	500	550	0.07	23.09	16.94
15	500	550	0.10	20.57	17.34
16	600	550	0.07	34.42	20.09
17	600	550	0.10	24.18	22.45
18	479	550	0.08	35.23	24.38
19	621	550	0.08	23.57	25.26
20	550	550	0.06	27.75	21.98
21	550	550	0.11	23.83	21.04
22	550	550	0.08	34.04	22.44
23	550	550	0.08	29.25	23.07
24	550	550	0.08	29.67	20.33
25	550	550	0.08	30.18	23.63
26	550	550	0.08	27.69	20.42



Tabel 2. Hasil percobaan proses perengkahan katalitik dengan pengumpanan pra-pengolahan dalam reaktor plasma

Variabel Bebas			Variabel bergantung	
Run	Waktu pengisian, X_1 (menit)	Jarak antar elektroda, X_2 (mm)	Produk hasil cair, Y_1 (%)	Produk hasil gas, Y_2 (%)
1	5	28	49,73	1,40
2	5	40	27,47	11,07
3	11	28	46,27	9,60
4	11	40	43,87	14,80
5	4	34	34,00	18,33
6	12	34	47,47	16,80
7	8	26	50,40	1,53
8	8	42	25,40	19,60
9	8	34	53,53	1,93
10	8	34	55,20	2,00

5

Tabel 3. Perbandingan antara antara produk hasil proses terintegrasi plasma katalitik dengan non-plasma katalitik

Jalan	Tanpa Plasma			Dengan Plasma		
	Hasil (%)	Waktu (menit)	Persen Kesalahan	Hasil (%)	Waktu (menit)	Persen Kesalahan
1	17,40	60	1,95	53,26	20	0,67
2	20,65	60	16,36	51,18	20	3,26
3	15,19	60	14,41	54,27	20	2,58
Rata-rata	17,75			52,90		

10

Hasil produk cair terdiri dari komponen-komponen daripada gasoline dengan rentang rantai hidrokarbon antara $C_5 - C_{13}$ (Tabel 4). Beberapa komponen aromatik juga diperoleh pada metode ini. Produk cair ini juga dikarakterisasi menggunakan metode Fourier Transform Infra Red (FT-IR) untuk mengetahui struktur ikatan kimia

15

yang ada di dalam sampel bahan bakar cair seperti ditampilkan pada

Gambar 2. Hal ini juga penting untuk mengkonfirmasi komponen-komponen yang terdeteksi di GC-MS.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa peak (puncak grafik) kuat tajam terdapat pada 2970 - 2924 cm^{-1} yang merupakan vibrasi peregangan dari ikatan C-H, sementara peak 15 yang lebih rendah terdapat pada 2337 cm^{-1} yang menyatakan kombinasi antara *bending* dan *twisting* dari vibrasi ikatan rangkap CH_2 . Peak antara 3000 dan 2800 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2$, and C-H, yang merupakan indikasi keberadaan komponen alifatik seperti alkana. Peak C=C terdeteksi pada 1651 cm^{-1} yang merupakan gugus alkena. Keberadaan peak 1373 hingga 1458 cm^{-1} karena adanya vibrasi deformasi ikatan C-H bonds menandakan keberadaan gugus alifatik medium tajam pada 887 dan 964 cm^{-1} mengindikasikan adanya deformasi C-H siklik yang menandakan terdapatnya hidrokarbon aromatik.

Tabel 4. Identifikasi dan komposisi komponen hidrokarbon di dalam produk bahan bakar cair dengan GC-MS

Waktu Retensi (menit)	Komponen Senyawa Teridentifikasi	Komposisi (%)
2.225	C_4H_8 (2-Methyl-1-propene)	3.33
2.408	C_5H_{10} (2-Methyl-2-butene)	3.44
2.650	C_6H_{12} (3-Methyl-2-pentene)	8.08
3.208	C/H-M (3-Methyl-2-hexene)	13.66
3.983	C_7H_8 (Methyl benzene)	10.96
5.133	C_9H_{18} (Propyl-Cyclohexane)	10.26
5.308	C_9H_{18} (2,4-dimethyl-1-Heptane)	12.00
15.175	$\text{C}_{13}\text{H}_{28}$ (n-tridecanol)	38.27

20

25



Klaim

1. Proses terintegrasi plasma-katalitik untuk perengkahan plastik atau sampah plastik untuk produksi bahan bakar cair/gas terdiri dari dua tahapan proses:
 - a. Proses tahap pertama (di dalam reaktor plasma) terdiri dari:
 - mula-mula sampel plastik diletakkan diantara kedua elektroda (elektroda tegangan tinggi dan elektroda ground),
 - jarak antara kedua elektroda tersebut diatur sesuai dengan kondisi proses (1 - 20 cm),
 - Potongan plastik tersebut dapat dipanaskan sampai suhu 300-450 °C) hingga mencair (untuk memudahkan *treatment* plasma) atau tidak dipanaskan,
 - sumber tegangan tinggi (sumber daya voltase tinggi) dihidupkan sehingga tegangan mencapai tegangan yang diinginkan (5 - 40 kV dan/atau 20 - 200 watt), dimana kombinasi besarnya tegangan listrik dan jarak antar elektroda diatur sehingga dapat dipastikan tidak terjadi *arc* (*lengkung*),
 - elektron berenergi tinggi mengalir dari elektroda tegangan tinggi menuju ke elektroda tegangan rendah dan bertumbukan dengan sampel plastik, sehingga elektron-elektron tersebut dapat merusak struktur ikatan kimia (karbon- karbon) di dalam reaktor plasma tersebut,
 - kontak tersebut (klaim d) dibiarkan hingga lama waktu tertentu (waktu charging) (1 - 60 menit),
 - setelah lama waktu charging tercapai maka sumber tegangan tinggi dimatikan.
 - b. proses tahap kedua, di dalam reaktor katalitik konvensional terdiri dari:
 - mula-mula katalis dan sampel plastik disusun di dalam reaktor katalitik, dimana katalis dibagi menjadi dua bagian dan diletakkan di bawah dan di atas sampel plastik,
 - gas nitrogen dialirkan dengan laju alir 100 - 200 cm³/menit untuk menghilangkan gas-gas yang berasal dari udara yang



mengandung oksigen,

- 5 - setelah aliran gas nitrogen dihentikan, tungku elektrik dihidupkan untuk memanasi reaktor sehingga suhu reaktor mencapai 400 - 550 °C dan dibiarkan hingga waktu perengkahan yang ditentukan selesai (1 - 30 menit), dimana pemakaian suhu yang lebih tinggi sebaiknya dihindari karena pada suhu tinggi katalis menjadi tidak efektif dan perengkahan termal menjadi lebih dominan dibandingkan dengan perengkahan katalitik,
- 10 - perbandingan berat katalis / sampel plastik adalah 0,5 - 3,5 gram katalis per gram sampel plastik,
- sampel plastik meleleh pada suhu reaktor di atas dan kontak dengan butiran katalis,
- 15 - lelehan plastik terengkah pada suhu tersebut dan menguap ke atas sehingga kontak dengan katalis bagian atas, dimana proses perengkahan juga terjadi di katalis bagian atas, dan katalis bagian atas berfungsi untuk menyempurnakan proses perengkahan yang dilakukan di katalis bagian bawah
- 20 - uap hasil perengkahan didinginkan di sebuah kondensor sehingga produk bahan bakar cair terkondensasi, suhu cairan pendingin adalah antara 0 - 10 °C,
- bahan bakar cair yang terkondensasi dipisahkan di sebuah penjerap cairan dan ditampung di penampung cairan (produk bahan bakar cair), sedangkan gas yang tidak terkondensasi ditampung di penampung gas (produk bahan bakar gas).
- 25 - setelah waktu perengkahan selesai, maka tungku dimatikan dan ditunggu hingga reaktor dingin dan dibuka,
- setelah reaksi perengkahan katalitis selesai, maka sisa residu di keluarkan dan ditampung dan katalis yang sudah dipakai juga dikeluarkan dan ditampung.
- 30
- 35 2. Proses sesuai dengan klaim 1, dimana katalis dipilih dari zeolite jenis H-ZSM5, HY dan HX atau kombinasi daripadanya atau dibuat dengan memodifikasi katalis bekas dari proses perengkahan katalitik residual.



- 3. Proses sesuai dengan klaim 1, dimana perbandingan berat katalis : sampah plastik adalah 0,5 - 3,5 gram katalis per gram sampah plastik.

5



Abstrak

PROSES TERINTEGRASI PLASMA - KATALITIK UNTUK MENGHASILKAN BAHAN BAKAR DARI SAMPAH PLASTIK

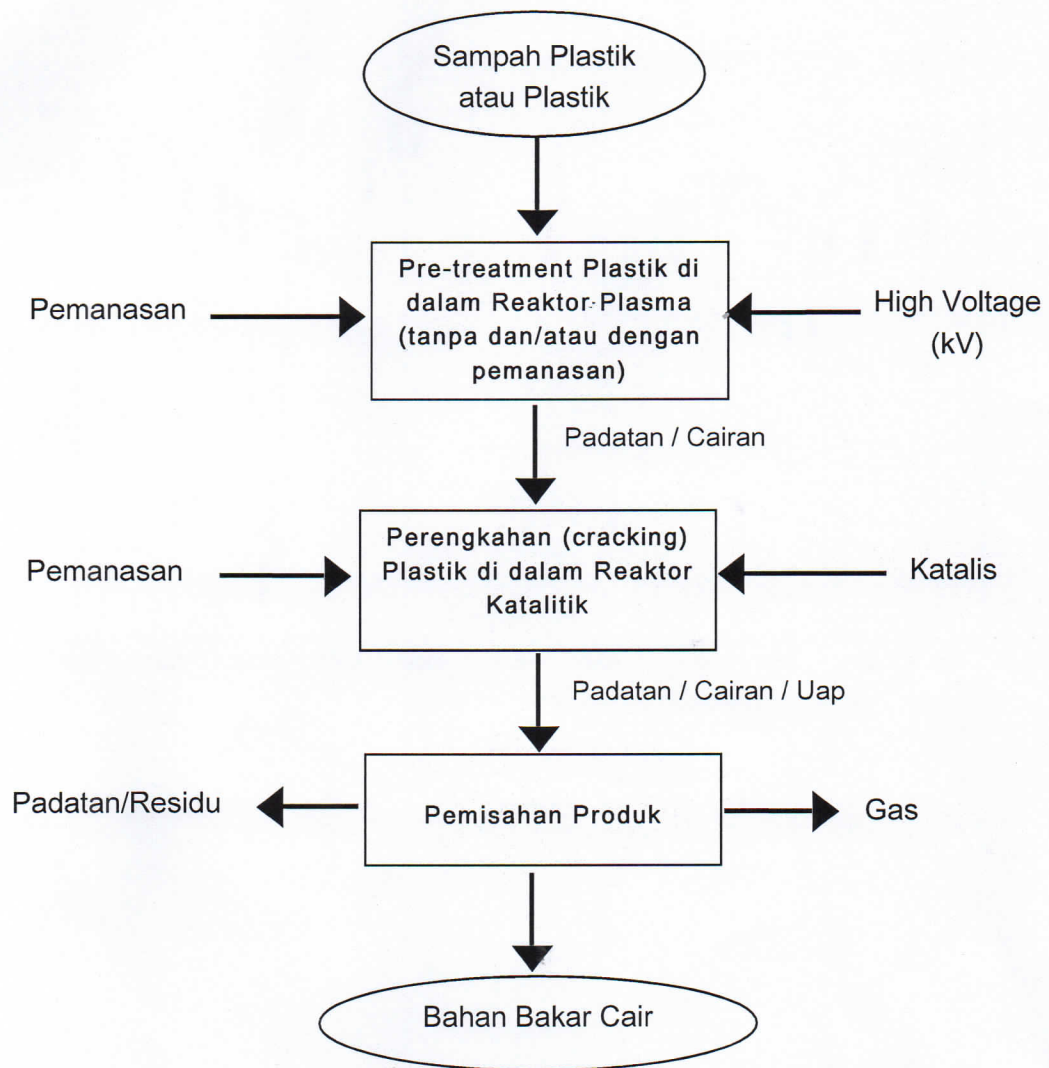
5

Invensi ini menyediakan proses terintegrasi plasma - katalitik untuk perengkahan plastik atau sampah plastik menjadi bahan bakar cair/gas. Konsep proses terintegrasi ini terdiri dari sistem pre-treatment menggunakan reaktor plasma untuk merusak terlebih dahulu struktur ikatan kimia polimer, dan dilanjutkan proses perengkahan katalitik di dalam reaktor katalitik konvensional. Reaktor plasma dapat memperbaiki kinerja perengkahan katalitik sehingga waktu yang dibutuhkan oleh proses katalitik berikutnya menjadi lebih singkat. Proses yang terjadi di dalam reaktor plasma adalah elektron-elektron berenergi tinggi mengalir dari elektroda tegangan tinggi menuju elektroda ground bertumbukan dengan molekul-molekul bahan polimer mampu memecah beberapa struktur ikatan kimia di dalam struktur polimer. Proses di dalam reaktor katalitik adalah berupa reaktor jenis *fixed bed* berisi katalis dan sampel plastik dimana perengkahan polimer plastik dilakukan dengan bantuan katalis pada suhu 400 - 600 °C.

25

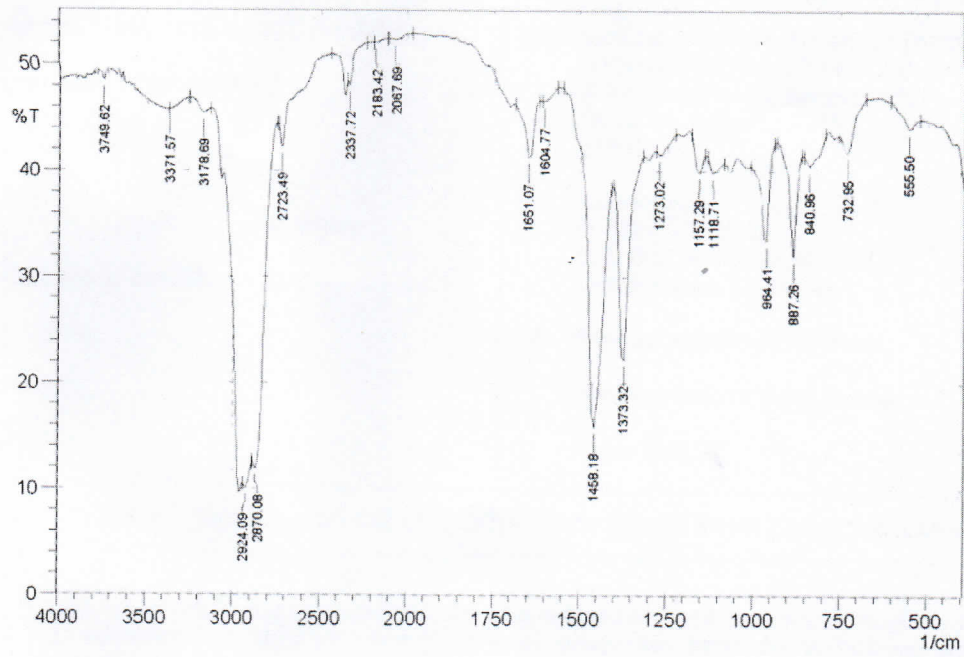
30

35



GAMBAR 1

[Handwritten signature]



GAMBAR 2

[Handwritten signature]

KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA RI
DIREKTORAT JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
DIREKTORAT PATEN

Jln. H.R. Rasuna Said, Kav. 8-9 Kuningan Jakarta Selatan 12940
 Phone/Facs. (6221) 57905611; Website: www.dgip.go.id

INFORMASI BIAYA TAHUNAN

Nomor Paten : IDP000045999 Tanggal diberi : 19/05/2017 Jumlah Klaim : 3
 Nomor Permohonan : P00201100950 IPAS Filing Date : 16/12/2011
 Entitlement Date : 16/12/2011

Berdasarkan Undang-undang No. 13 Tahun 2016 tentang Paten, dan Peraturan Pemerintah Nomor 45 tahun 2014 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.

Biaya Tahunan Ke-	Periode Perlindungan	Batas Akhir Pembayaran	Biaya Dasar	Jml Klaim	Biaya Klaim	Total	Terlambat (Bulan)	Total Denda	Jumlah Pembayaran
1	16/12/2011-15/12/2012	18/11/2017	0	3	0	0	0	0	0
2	16/12/2012-15/12/2013	18/11/2017	0	3	0	0	0	0	0
3	16/12/2013-15/12/2014	18/11/2017	0	3	0	0	0	0	0
4	16/12/2014-15/12/2015	18/11/2017	0	3	0	0	0	0	0
5	16/12/2015-15/12/2016	18/11/2017	0	3	0	0	0	0	0
6	16/12/2016-15/12/2017	18/11/2017	1.500.000	3	450.000	1.950.000	0	0	1.950.000
7	16/12/2017-15/12/2018	18/11/2017	2.000.000	3	600.000	2.600.000	0	0	2.600.000
8	16/12/2018-15/12/2019	17/11/2018	2.000.000	3	600.000	2.600.000	0	0	2.600.000
9	16/12/2019-15/12/2020	17/11/2019	2.500.000	3	750.000	3.250.000	0	0	3.250.000
10	16/12/2020-15/12/2021	17/11/2020	3.500.000	3	750.000	4.250.000	0	0	4.250.000
11	16/12/2021-15/12/2022	17/11/2021	5.000.000	3	750.000	5.750.000	0	0	5.750.000
12	16/12/2022-15/12/2023	17/11/2022	5.000.000	3	750.000	5.750.000	0	0	5.750.000
13	16/12/2023-15/12/2024	17/11/2023	5.000.000	3	750.000	5.750.000	0	0	5.750.000
14	16/12/2024-15/12/2025	17/11/2024	5.000.000	3	750.000	5.750.000	0	0	5.750.000
15	16/12/2025-15/12/2026	17/11/2025	5.000.000	3	750.000	5.750.000	0	0	5.750.000
16	16/12/2026-15/12/2027	17/11/2026	5.000.000	3	750.000	5.750.000	0	0	5.750.000
17	16/12/2027-15/12/2028	17/11/2027	5.000.000	3	750.000	5.750.000	0	0	5.750.000
18	16/12/2028-15/12/2029	17/11/2028	5.000.000	3	750.000	5.750.000	0	0	5.750.000
19	16/12/2029-15/12/2030	17/11/2029	5.000.000	3	750.000	5.750.000	0	0	5.750.000
20	16/12/2030-15/12/2031	17/11/2030	5.000.000	3	750.000	5.750.000	0	0	5.750.000

Biaya yang harus dibayarkan untuk pertama kali hingga tanggal 10/07/2017 (tahun ke-1 s.d 7) adalah sebesar ~~4.550.000~~ 455.000

- 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.
- Penundaan pembayaran biaya tahunan dapat dilakukan dengan mengajukan surat permohonan untuk menggunakan mekanisme masa tenggang, diajukan paling lama 7 hari kerja sebelum tanggal jatuh tempo pembayaran biaya tahunan
- Dalam hal biaya tahunan belum dibayarkan sampai dengan jangka waktu yang ditentukan, Paten dinyatakan dihapus