

STUDI REAKTOR PLASMA *DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE* (DBD) PLANAR TO PLANAR UNTUK *PRE-TREATMENT* KONVERSI LIMBAH PLASTIK POLIPROPILEN MENJADI BAHAN BAKAR CAIR

Aniyati Khoiriyah, M.C.T. Wahyu Utami, I. Istadi^{*)}

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

Polipropilen (PP) merupakan jenis plastik yang secara luas digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Limbah atau sampah plastik merupakan masalah tersendiri karena plastik merupakan limbah yang tidak mudah terdegradasi secara alami. Metode untuk pengolahan limbah plastik adalah thermal cracking dan catalytic cracking (perengkahan katalitik). Proses konvensional tersebut membutuhkan suhu yang tinggi dan berpengaruh pada energi yang dibutuhkan. Teknologi plasma yang dikombinasikan dengan proses perengkahan katalitik diharapkan dapat menyelesaikan masalah tersebut. Jarak antar elektroda dan besar tegangan tinggi listrik dalam reaktor plasma merupakan hal yang penting dalam rancangan reaktor plasma yang optimal serta jenis atau desain reaktor plasma. Kedua parameter tersebut perlu diketahui kondisi optimalnya supaya proses pre-treatment polimer dapat memberikan produktifitas yang lebih baik. Reaktor plasma DBD planar to planar digunakan sebagai alat untuk merusak struktur plastik polipropilen (proses pre-treatment) sehingga dapat mempermudah dalam proses perengkahan katalitik di dalam reaktor fixed bed konvensional dengan katalis RCC (Residual Catalytic Cracking). Pada reaktor plasma ini, jarak antar elektroda yaitu pada rentang jarak 2,5-4 cm, sedangkan besar tegangan reaktor plasma DBD adalah pada range 3-7,5 kV. Kombinasi pre-treatment (jarak antar elektroda 3,3 cm dan tegangan reaktor plasma 5,3 kV) dan proses katalitik cracking konvensional dengan menggunakan rasio berat katalis dan plastik 2:1 pada suhu 500°C selama 1 jam dapat menghasilkan bahan bakar cair dengan yield sebesar 36,27%.

Kata kunci : *katalitik cracking; polipropilen; reaktor plasma DBD; jarak antar elektroda; tegangan listrik*

Abstract

Polipropilen (PP) is a kind of plastic that is widely used in our life. Plastic wastes give big problems to environment because plastic wastes are not easily degraded by nature. Conventional method for plastic waste processing is thermal cracking and catalytic cracking. The conventional process needs high energy. Plasma technology combined with catalytic cracking process is expected to cover the problems of energy requirement. Distance between both electrodes (high voltage and ground) and high voltage magnitude in plasma reactor is important parameter in plasma reactor operation and type or design of plasma reactor. Optimum of both important parameters need to be studied in order to get optimal operating condition suitable for better productivity. DBD Planar to Planar plasma reactor can be used to pre-crack polipropilen's structure (in the pre-treatment's process) so that catalytic cracking process in fixed bed's reactor conventional that use RCC (Residual Catalytic Cracking) catalyst can be easier to take. On this plasma reactor, distance between both electrodes of 2,5 - 4 cm, and the high voltage of 3-7,5 kV are optimal operating conditions. Combination of the pre-treatment (distance between electrodes 3,3 cm and high voltage 5,3 kV) and the conventional catalytic cracking process by using weight ratio of catalyst to plastic 2:1 and reactor temperature 500°C and reaction time 1 hour could produce liquid fuel yield of 36,27%.

Key word : *catalytic cracking; polypropylene; DBD plasma reactor; distance between electrode; high voltage*

1. Pendahuluan

Kebutuhan utama di dunia salah satunya adalah energi. Pertumbuhan populasi penduduk, akan meningkatkan kebutuhan terhadap energi, tetapi hal ini tidak diimbangi dengan persediaan sumber energi yang ada. Untuk itu, perlu adanya pemikiran tentang energi baru yang terbarukan. Pemanfaatan sampah dan limbah

^{*)} Penulis Penanggung Jawab (Email: istadi@undip.ac.id)

yang dapat diubah menjadi suatu sumber energi merupakan alternatif yang perlu dikembangkan. Salah satu sampah yang dapat dimanfaatkan kembali adalah plastik yang sifatnya tidak mudah terdegradasi. Menurut data dari KLH (Kementerian Lingkungan Hidup) volume timbunan sampah di 194 kabupaten dan kota di Indonesia mencapai 666 juta liter atau setara 42 juta kilogram, dimana komposisi sampah plastik mencapai 14 persen atau 6 juta ton (Junaedy, 2009). Salah satu metode untuk pengolahan limbah plastik adalah *thermal cracking*. Proses ini membutuhkan suhu yang relatif tinggi sehingga akan mempengaruhi konsumsi energi yang digunakan. Konsumsi energi yang semakin tinggi membutuhkan biaya operasi yang tinggi pula, sehingga metode ini kurang diminati (Olazar *et al.*, 2009). Metode lain yang bisa digunakan untuk mengatasi limbah plastik adalah dengan menggunakan proses perengkahan katalitik. Penggunaan katalis pada proses perengkahan plastik menyebabkan kondisi suhu operasi yang lebih rendah (Manos *et al.*, 2002) dan itu merupakan keuntungan proses ini.

Beberapa penelitian terdahulu, telah menjelaskan proses perengkahan dengan menggunakan bantuan katalis. Penelitian yang menggunakan katalis HZSM-5 menghasilkan *yield* produk 50% –80% dengan suhu operasi 340°C dan waktu 2 jam (Serrano *et al.*, 2005). Sedangkan penelitian lainnya menggunakan katalis Co-Ac, DHC-8, dan HZSM-5 untuk menghasilkan *yield* produk pada kisaran 95-98%, dengan suhu operasi 425, 435, 450°C dan waktu 2 jam (Karagoz *et al.*, 2002). Dari beberapa penelitian tersebut dapat diketahui bahwa konsumsi energi yang dibutuhkan untuk proses perengkahan katalitik polimer cukup besar dan belum ada satupun yang menggunakan teknologi plasma. Teknologi plasma diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan di atas. Oleh karena itu penelitian ini berfokus pada kajian design reaktor plasma, terutama reaktor plasma *Dielectric Barrier Discharge (DBD) planar-to planar* yang khusus digunakan untuk perlakuan terhadap polipropilen sebelum dilakukan tahapan perengkahan katalitik. Design reaktor plasma tersebut diharapkan memberikan kontak yang lebih baik antara *High energy electron* dengan polimer (PP) sehingga bisa merusak struktur ikatan molekul.

Penambahan dielectric-barrier pada reaktor plasma DBD planar-to-planar dan besarnya tegangan listrik yang digunakan serta pengaturan jarak antar elektroda dapat menaikkan power elektron plasma sehingga *yield* bahan bakar cair yang dihasilkan tinggi.

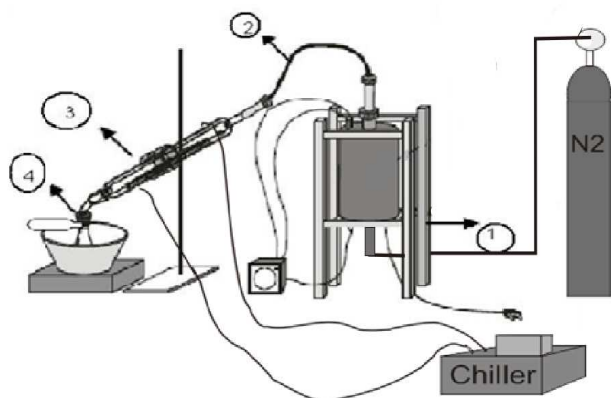
Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui efek dari desain reaktor plasma DBD *planar-to-planar* terhadap proses perengkahan katalitik dan mengetahui efek jarak antar elektroda dan tegangan listrik optimal yang memberikan produktifitas paling baik.

2. Bahan dan Metode Penelitian (atau Pengembangan Model bagi yang Simulasi/Permodelan)

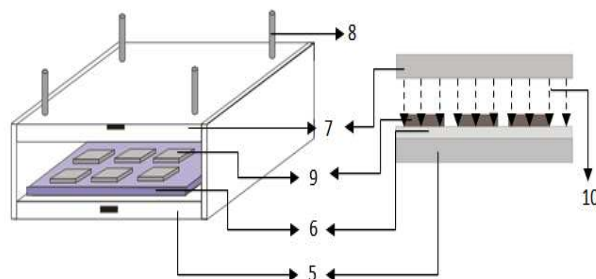
Bahan Penelitian dan Penyiapan Katalis

Penelitian ini menggunakan plastik jenis polipropilen dari plastik kemasan air minum sebagai bahan yang akan dilakukan perengkahan katalitik dengan pretreatment pada reaktor plasma, sedangkan katalis yang digunakan adalah katalis bekas RCC (*Residual Catalytic Cracking*). Sebelum dipakai, katalis ini diregenerasi terlebih dahulu dengan cara dikeringkan (*drying*) pada suhu 110°C selama ± 24 jam (*overnight*) di dalam oven. Setelah itu dilanjutkan dengan kalsinasi katalis pada temperatur 550°C dalam *furnace* selama tiga jam. Proses kalsinasi ini dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan air dan sisa-sisa karbon (*coke*) yang terperangkap di dalam pori-pori katalis. Bahan lain yang digunakan adalah etilen glikol teknis (Brataco, 99,9%) yang berfungsi sebagai media pendingin.

Prosedur Penelitian



Gambar 1. Peralatan perengkahan katalitik, (1). Reaktor Fixed Bed, (2). Selang tahan panas, (3). Pendingin Liebig, (4). Erlenmeyer



Gambar 2. Peralatan reaktor plasma DBD, (5). Ground diam atau stator, (6). Dielektrik, (7) *High Voltage Electrode*, (8). Pengatur jarak elektroda, (9) Plastik Polipropilen, (10) *high energetic electrons*

Percobaan dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan yang akan dipergunakan. Kemudian reaktor plasma dirangkai sesuai dengan gambar rangkaian alat dimana jarak antar elektroda dalam reaktor plasma dan besarnya tegangan listrik merupakan variabel berubah yang digunakan. Selanjutnya plastik polipropilen yang telah dipotong kecil-kecil dimasukkan pada ruang antara elektroda dan *ground* untuk selanjutnya dilakukan proses *pre-treatment* plastik dalam reaktor plasma. Plastik yang telah dikenai tahapan *pre-treatment* dalam reaktor plasma, kemudian digunakan sebagai sampel untuk proses perengkahan katalitik dalam reaktor *fixed bed* konvensional. Selanjutnya peralatan yang digunakan untuk proses perengkahan katalitik dirangkai dan disusun sesuai dengan gambar rangkaian alat dimana reaktor dimasukkan dalam *furnace electric* yang dilengkapi dengan alat pengontrol suhu. Ujung bagian atas reaktor dihubungkan dengan selang tahan panas untuk mengalirkan uap ke dalam media pendingin, dan dari pendingin dihubungkan ke erlenmeyer sebagai penampung cairan. Ujung bagian atas dan bawah reaktor diberi *glasswool* secukupnya. Kemudian bahan baku dimasukkan ke dalam reaktor dengan susunan sebagai berikut : katalis di bagian bawah reaktor, *raw material* (plastik PP), katalis di bagian atasnya. Setelah tercapai suhu dan waktu reaksi optimal akan didapatkan 2 produk. Produk yang keluar berupa uap, setelah dikondensasikan akan berupa cairan yang kemudian ditampung dalam erlenmeyer, diukur volumenya dan ditimbang beratnya. Sedangkan padatannya yang merupakan residu sisa reaktan ditimbang. Untuk produk bahan bakar cair dianalisa menggunakan GC-MS (GC-Mass Spectrometer)

Design percobaan dilakukan dengan menggunakan *Central Composite Design* dalam metode RSM (*Response Surface Methodology*), sedangkan hasil yang diperoleh dianalisis dengan ANOVA. Hubungan antara variabel bergantung atau response dengan variabel bebas dimodelkan secara empirik dalam persamaan matematik kuadrat. Metode RSM adalah teknik statistika yang meliputi : (a) perancangan percobaan yang menyediakan perhitungan yang akurat, (b) pembuatan model matematika, (c) penentuan nilai optimum dari variabel bebas.

Rancangan Percobaan dan Optimasi Response Surface Methodology (RSM)

RSM (*Response Surface Methodology*) adalah suatu metode statistik untuk perancangan percobaan, pemodelan matematik, optimasi dan analisis statistik dalam penelitian. Dengan menggunakan RSM, sebuah persamaan polinomial kuadrat dikembangkan untuk memperkirakan hasil percobaan sebagai fungsi dari interaksi antara variabel bebas. Koefisien dari model empirik diestimasi dengan menggunakan teknik analisa regresi multiarah yang ada dalam RSM. Secara umum persamaan empirik yang akan digunakan adalah:

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j X_j + \sum_{j=1}^n \beta_{jj} X_j^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

dengan Y = hasil yang diperkirakan, β_0 = koefisien intercept, β_j = koefisien linier X_j , β_{jj} = koefisien kuadrat X_j , β_{ij} = koefisien interaksi, X_i dan X_j = variabel bebas.

Adapun rentang variabel bebas dan levelnya ditunjukkan di Tabel 1, sedangkan rancangan percobaan berdasarkan metode *Central Composite Design* ditunjukkan pada Tabel 2.

Kurva tiga dimensi (*Three dimensional response surface and Contour plot*) digunakan untuk menguji kebenaran pengaruh variabel percobaan pada hasil yang diperoleh. Koefisien-koefisien pada model empirik diestimasi dengan menggunakan analisis regresi multiarah. Kesesuaian model empirik dengan data eksperimen dapat ditentukan dari koefisien determinasi (R^2). Untuk menguji signifikan atau tidaknya model empirik yang dihasilkan digunakan ANOVA (*Analysis of Variance*).

Tabel 1. Rentang dan level variabel bebas di dalam Reaktor Plasma

Variabel Bebas	Range and Levels				
	Star point (-α)	Low level (-1)	Center level (0)	High level (+1)	Star point (+α)
Jarak antar elektroda (cm)	2,2	2,5	3,3	4	4,3
Besar tegangan listrik (kV)	2,1	3	5,3	7,5	8,4

Variabel tetap yang digunakan yaitu rasio berat katalis dengan plastik polipropilen 2:1, suhu kalsinasi katalis 550°C, tekanan operasi 1 atm, tebal kaca dielektrik yang digunakan 2 mm, dan waktu operasi perengkahan katalitik 1 jam, sedangkan variabel berubahnya adalah jarak antar elektroda dalam reaktor plasma (2,5-4 cm) dan tegangan listrik yang digunakan (3-7,5 kV). Adapun susunan/konfigurasi katalis dan sampel dalam reaktor *fixed bed* konvensional berturut-turut dari bawah yaitu : *glasswool* (berfungsi sebagai penyangga sampel), sampel, katalis, *glasswool*, dan katalis.

Tabel 2. Rancangan percobaan dengan Central Composite Design

RUN	Jarak antar elektroda (cm)	Besar tegangan listrik (kV)
1.	2,5	3
2.	2,5	7,5
3.	4	3
4.	4	7,5
5.	2,2	5,3
6.	4,3	5,3
7.	3,3	2,1
8.	3,3	8,4
9.	3,3	5,3
10.	3,3	5,3

3. Hasil dan Pembahasan

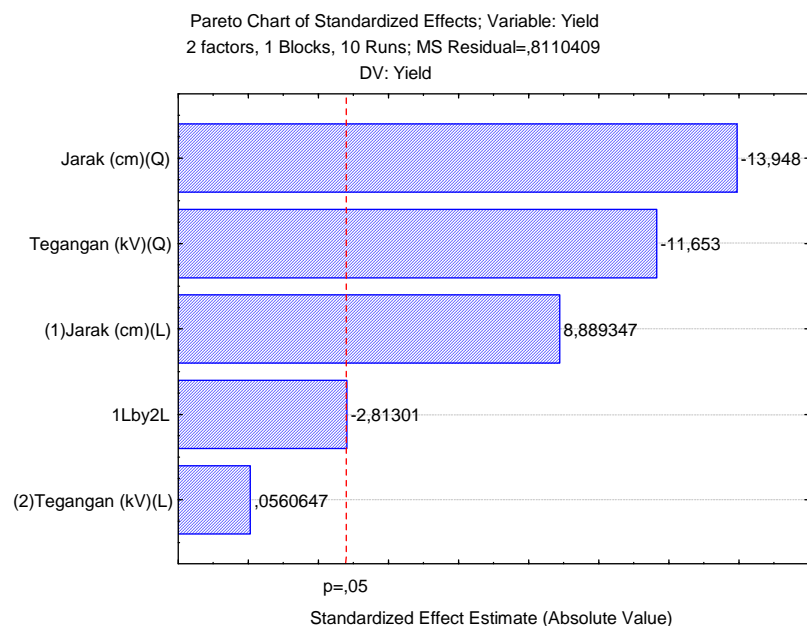
Pada penelitian ini, variabel tetap yang digunakan yaitu rasio berat katalis dengan plastik polipropilen 2:1, suhu kalsinasi katalis 550°C, tekanan operasi 1 atm, suhu katalitik *cracking* 500°C, waktu charging reaktor plasma 30 menit dan waktu operasi perengkahan katalitik 60 menit, sedangkan variabel berubahnya adalah jarak antar elektroda (2,5-4 cm) dan besar tegangan listrik (3-7,5 kV). Adapun hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil percobaan proses perengkahan katalitik dengan *pre-treatment* umpan dalam reaktor plasma

Run	Variabel Bebas		Variabel Bergantung
	Jarak antar elektroda, X ₁ (cm)	Besar tegangan listrik, X ₂ (kV)	Yield bahan bakar cair, Y ₁ (%)
1.	2,5	3	21,73
2.	2,5	7,5	23,87
3.	4	3	28,80
4.	4	7,5	25,87
5.	2,2	5,3	19,60
6.	4,3	5,3	29,20
7.	3,3	2,1	26,00
8.	3,3	8,4	26,67
9.	3,3	5,3	36,27
10.	3,3	5,3	35,73

Optimasi Kondisi Operasi Reaktor Plasma DBD untuk *Pre-treatment* Plastik Polipropilen

Dari grafik Pareto, dapat dilihat bahwa harga efek variabel yang melewati garis $p=0.05$ merupakan variabel yang berpengaruh terhadap yield bahan bakar cair yaitu jarak antar elektroda (L,Q) dan besar tegangan listrik (Q). Harga efek dari variabel yg tidak melewati garis $p=0.05$ merupakan variabel berpengaruh yang dapat diabaikan yaitu tegangan (L) dan interaksi antara variabel jarak antar elektroda dan besar tegangan listrik karena pengaruhnya tidak mengakibatkan peningkatan yield yang signifikan.



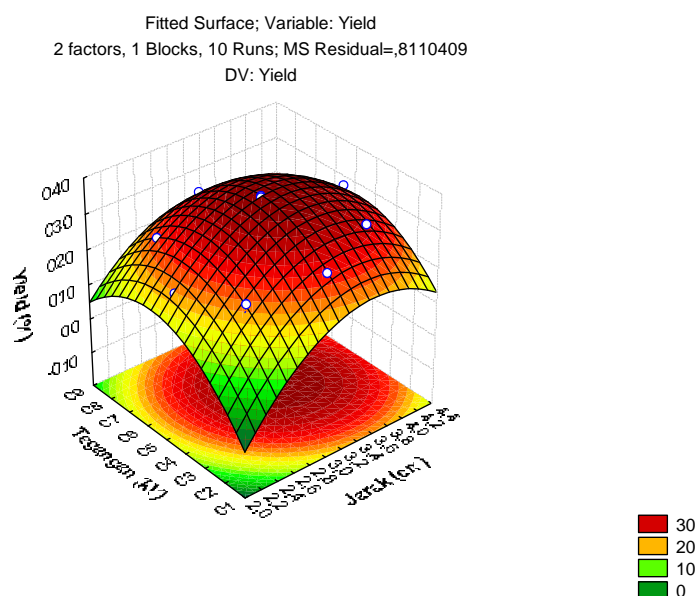
Gambar 3. Pareto Chart variabel jarak dan tegangan listrik reaktor plasma

Tabel 4. Tabel efek estimasi untuk produk bahan bakar cair (X_1 : jarak antar elektroda, X_2 : besar tegangan listrik, X_1X_2 :interaksi antara jarak antar elektroda dengan besar tegangan listrik)

Faktor	Efek	Nilai p	Nilai t
X_1	5,6608	0,000885	8,8893
X_1^2	-11,7500	0,000153	-13,9480
X_2	0,0357	0,957979	0,0561
X_2^2	-9,8167	0,000310	-11,6530
X_1X_2	-2,5333	0,048169	-2,8130

Keterangan : L (Linier), Q (*Quadratic*), t (uji signifikansi korelasi), p (probabilitas)

Hubungan antara jarak antar elektroda dan besar tegangan listrik pada reaktor plasma DBD terhadap yield bahan bakar cair ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan jarak dan tegangan listrik terhadap yield bahan bakar cair

Kondisi operasi optimal diperoleh pada jarak antar elektroda 3,3 cm dan tegangan listrik 5,3 kV. Variabel tegangan listrik berhubungan dengan banyaknya elektron berenergi yang dihasilkan reaktor plasma. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan pada elektroda maka semakin banyak pula ion dan elektron bebas yang terbentuk (Tuhi dan Hanry, 2010). Elektron-elektron tersebut yang berfungsi untuk merusak struktur permukaan umpan plastik polipropilen. Hal itu dapat terjadi dikarenakan adanya aktivitas elektron berenergi tinggi dalam reaktor plasma tersebut. Bantuan elektron berenergi tinggi itulah yang membuat plastik mengalami degradasi. Semakin banyak elektron berenergi yang dihasilkan, belum tentu plastik akan semakin terdegradasi. Dibutuhkan tegangan listrik yang tepat supaya plastik benar-benar terdegradasi secara maksimal. Variabel jarak antar elektroda berhubungan dengan besarnya energi elektron yang dihasilkan reaktor plasma. Semakin pendek jarak antar elektroda, maka semakin tinggi energi elektron yang dihasilkan oleh reaktor plasma dan mengakibatkan sampel plastik semakin mudah terdegradasi. Reaktor plasma mempunyai kemampuan mempengaruhi reaksi kimia dan fisika. Plasma dapat dipandang sebagai fase ke empat setelah fase padat, cair dan gas (Putut, 2008). Plasma merupakan kondisi dimana sebuah fasa/gas yang berisi elektron, atom-atom dan molekul-molekul tereksitasi, ion, radikal, foton, dan partikel netral dimana elektron-elektron mempunyai energi yang sangat tinggi dibandingkan dengan partikel gas netral (Istadi, 2006). Energi dari elektron tersebut digunakan untuk merusak ikatan pada umpan plastik polipropilen sehingga umpan akan mengalami proses degradasi (Luthon *et al.*, 2006).

Berdasarkan hasil percobaan yang ditampilkan di Tabel 3, dapat dibuat model matematika empirik dengan menggunakan teknik analisa regresi multi arah yang ditunjukkan oleh Persamaan (2).

$$Y_1 = -126,157 + 75,604X_1 - 10,444X_1^2 + 12,628X_2 - 0,969X_2^2 - 0,751X_1X_2 \quad (2)$$

dimana Y_1 adalah yield produk bahan bakar cair (%), X_1 adalah jarak antar elektroda (cm) dan X_2 adalah besar tegangan listrik (kV)

Signifikansi dari model tersebut diuji dengan menggunakan ANOVA seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. ANOVA untuk produk bahan bakar cair

Sumber variasi	SS	df	MS	F-value
SS regresi	338,43	5	338,43	417,28
SS error	3,24	4	0,81	
SS total	263,54	9		
R^2	0,99			

Hasil dari pencocokan model menunjukkan bahwa perhitungan F-value sebesar 417,28 lebih besar dibandingkan F-tabel ($F_{0,05; 5, 4} = 6,26$). Sehingga persamaan tersebut signifikan pada tingkat kepercayaan 5 %.

Hasil dari pencocokan model dengan menggunakan metode ANOVA diperoleh harga $R^2 = 0,99$. Dari harga R^2 yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai R^2 mendekati satu, sehingga model matematik yang diperoleh cocok/sesuai dengan data percobaan.

Perbandingan Yield Produk Proses Terintegrasi Plasma-Katalitik dengan Non-plasma Katalitik

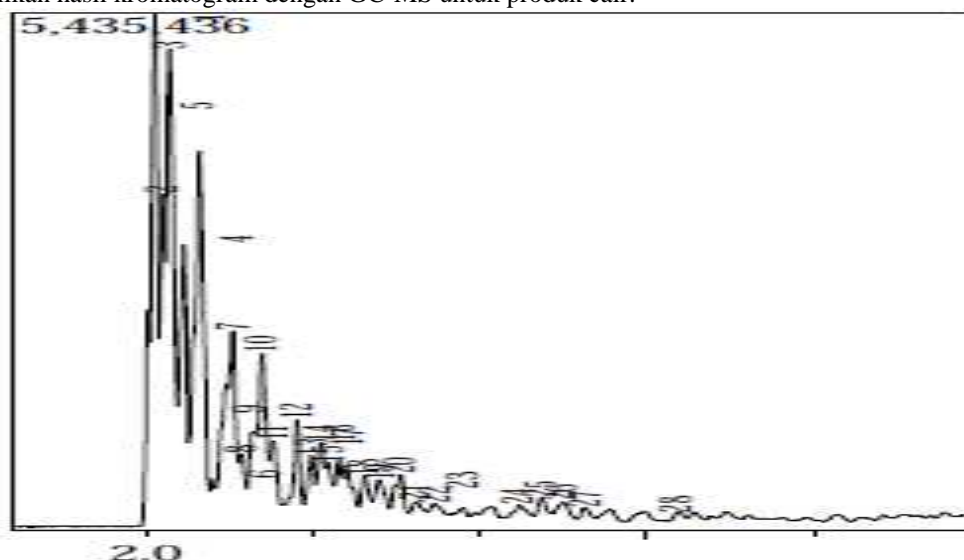
Dalam proses perengkahan katalitik dengan bantuan reaktor plasma DBD *planar to planar* untuk *pre-treatment* sampel plastik, dihasilkan yield produk optimum cair sebesar 29,33%, 36,27%, dan 35,73%. Waktu yang digunakan untuk proses perengkahan katalitik adalah 60 menit, dimana dalam waktu tersebut proses perengkahan telah berjalan maksimal yang ditandai dengan tidak dihasilkannya lagi produk cair. Sedangkan pada proses perengkahan katalitik tanpa *pre-treatment* sampel plastik dalam reaktor plasma, dihasilkan yield produk bahan bakar cair sebesar 17,40%, 26,40%, dan 15,19%. Waktu yang digunakan untuk proses perengkahan katalitik adalah 60 menit. Perbandingan antara antara yield produk proses terintegrasi plasma-katalitik dengan non-plasma katalitik dapat dilihat pada tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Perbandingan antara antara *yield* bahan bakar cair proses terintegrasi plasma-katalitik dengan non-plasma katalitik

Run	Tanpa Plasma		Dengan Plasma	
	Yield (%)	Waktu (menit)	Yield (%)	Waktu (menit)
1	17,40	60	29,33	60
2	26,40	60	36,27	60
3	15,19	60	35,73	60
Rata-rata	19,66		33,78	

Karakterisasi Produk Bahan Bakar Cair

Hasil perengkahan katalitik yang berupa bahan bakar cair kemudian dianalisis komposisi dan identifikasinya dengan menggunakan GC-MS kolom kapiler dan untuk mengetahui komponen yang ada di dalam hasil cairan dilakukan analisa GC-MS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*). Gambar 5. akan menampilkan hasil kromatogram dengan GC-MS untuk produk cair.



Gambar 5. Kromatogram produk bahan bakar cair dengan GC-MS

Berdasarkan hasil GC-MS tersebut, dapat diketahui bahwa produk bahan bakar cair memiliki komponen-komponen hidrokarbon yang biasa terdapat dalam bensin, seperti ditunjukkan pada Tabel 7, berikut dengan komposisinya.

Tabel 7. Identifikasi dan komposisi produk cair dengan GC-MS

Peak	Retention time (menit)	Senyawa	Komposisi (%w)
1	2,058	C ₅ H ₁₀ (Cis-1,2-Dimethylcyclopropane)	19,93
2	2,100	C ₅ H ₈ O (Cis-methyl propenil ketone)	6,93
3	2,143	C ₆ H ₁₂ (2-Pentene, 3-methyl)	17,34
4	2,232	C ₇ H ₁₂ (2-Pentene, 3-ethyl)	8,60
5	2,322	C ₇ H ₁₄ (3-Hexene, 3-methyl)	15,76
6	2,399	C ₁₀ H ₂₂ (Decane)	0,16
7	2,521	C ₈ H ₁₆ (2-Hexene, 3,5-dimethyl)	8,17
8	2,575	C ₇ H ₁₄ O (Cyclohexanemethanol)	0,73
9	2,633	C ₈ H ₁₆ (trans-2-Octene)	2,18
10	2,699	C ₈ H ₁₆ (2-Hexene, 3,5-dimethyl)	5,16
11	2,762	C ₈ H ₁₆ (Dimethyl-2,3 hexene-1)	1,74
12	2,909	C ₉ H ₁₈ (2-Heptene, 2,3-dimethyl)	2,27
13	2,993	C ₉ H ₁₈ (trans-4-Nonene)	1,52
14	3,049	C ₉ H ₁₈ (trans-4-Nonene)	2,05
15	3,092	C ₁₁ H ₂₀ O ₂ (2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester)	1,22
16	3,158	C ₇ H ₁₆ (Pentane, 2,3-dimethyl)	1,49
17	3,203	C ₁₀ H ₁₇ D (1,5-Heptadine, 3-(Deuteromethyl)-3,6-dimethyl)	1,43
18	3,311	C ₉ H ₁₈ (4-Nonene)	0,88
19	3,397	C ₉ H ₁₈ (3-Heptene, 4-ethyl)	0,96
20	3,529	C ₉ H ₁₈ (trans-2-Methyl-3-octene)	1,50
	Total		100

Dari hasil identifikasi tersebut, apabila dibandingkan dengan komposisi bensin standar, yang memiliki rentang hidrokarbon C₃-C₁₅ (Panda *et al.*, 2010), adalah sangat identik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil produk bahan bakar cair pada proses perengkahan katalitik merupakan bahan bakar yang dalam fraksi bensin.

4. Kesimpulan

Kondisi operasi yang optimal untuk menghasilkan produk bahan bakar cair adalah pada jarak antar elektroda 3,3 cm dan tegangan listrik yang digunakan sebesar 5,3 kV dengan yield sebesar 36,27%. Proses pre-treatment plastik polipropilen di dalam reaktor plasma DBD planar to planar dapat mendegradasi awal struktur plastik polipropilen sehingga proses perengkahan katalitik berjalan lebih efisien.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Didi Dwi Anggoro, MT., selaku koordinator Laboratorium Rekayasa Proses, Bapak Sungkowo selaku laboran Laboratorium Rekayasa Proses, Bapak Ridwan atas bantuannya dalam perbaikan alat penelitian, Saudara Septian dan Anam atas penelitian terdahulu yang sangat membantu terlaksananya penelitian ini, serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Ahmaruzzaman, M., Sharma, D.K., 2008, Characterization of Liquid Products from The Co-cracking of Ternary and Quaternary Mixture of Petroleum Vacuum Residue, Polypropylene, Samla Coal and Calotropis Procera. *Fuel*, 87, 1963-1967.
- Istadi, 2006, Aplikasi Teknologi Hibrid Katalisis-Plasma Dalam Pengembangan Reaktor Kimia Masa Depan, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 1(2), 15–20
- Istadi, 2009, *Hibrid Catalytic-Plasma Reactor Development for Energy Conversion*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang
- Junaedy, Eko, 2009, *Penggunaan Kantong Plastik Akan Dibatasi* (<http://www.dml.or.id/dml5/>), diakses tanggal 15 November 2009
- Karagoz, S., Yanik, J., Ucuur, S., Song, C., 2002, Catalytic Coprocessing of Low-Density Polyethylene with VGO Using Metal Supported on Activated Carbon, *Energy & Fuels*, 16, 1301-1308
- Kodera, Y and Ishihara, Y., 2006, Novel Process for Recycling Waste Plastics To Fuel Gas Using a Moving-Bed Reactor, *Energy & Fuels*, 20, 155–158
- Kogelschatz, Ulrich, 2003, Dielectric-barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 23, No.1
- Lin, Yeuh-Hui, 2009, Production of valuable hydrocarbons by catalytic degradation of a mixture of post-consumer plastic waste in a fluidized-bed reactor, *Polymer Degradation and Stability*, 94, 1924-1931
- Luthon, F., Clement, F., (2006), Macroscopic Quality Measurement of Plasma Treated Polystyrene through Computer Vision. International Conference on Automation, Quality and Testing, *Robotics*, vol. 2, 321-326
- Manos, G., Yusof, Isman Y., Gangas, Nicolas H., Papayannakos, N., 2002, Tertiary Recycling of Polyethylene to Hydrocarbon Fuel by Catalytic Cracking over Aluminum Pillared Clays, *Energy & Fuels*, 16, 485-489
- Mountouris, A., Voutsas, E., Tassios, D., 2008, Plasma Gasification of Sewage Sludge: Process Development and Energy Optimization, *Energy Conversion and Management*, 49, 2264–2271
- Olazar, M., Lopez, G., Amutio, M., Elordi, G., Aguado, R., Bilbao, J., 2009, Influence of FCC Catalyst Steaming on HDPE Pyrolysis Product Distribution, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 85, 359-365
- Panda, A.K., Singh, R.K., Mishra, D.K., 2010, Thermolysis of waste plastics to liquid fuel A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products—A world prospective, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 233-248
- Pornmai, K., Jindanin, A., Sekiguchi, H., Chavadej, S., 2012, Synthesis Gas Production from CO₂-Containing Natural Gas by Combined Steam Reforming and Partial Oxidation in an AC Gliding Arc Discharge, *Plasma Chem Plasma Process*
- Putut Marwoto, 2008, Karakterisasi Reaktor Plasma CVD Untuk Deposisi *Diamond-like Carbon Coating*, Universitas Negeri Semarang
- Septian, A.A dan M. Farkhan, 2010, Aplikasi Terintegrasi Reaktor Plasma dan Reaktor konvensional Katalitik untuk Konversi Limbah Plastik Polipropilen (PP) Menjadi Bahan Bakar, Universitas Diponegoro
- Serrano, D.P., Aguado, J., Escola, J.M., Rodriguez, J.M., 2005, Influence of Nanocrystalline HZSM-5 External Surface on The Catalytic Cracking of Polyolefins, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 74, 353-360

Simek, M., Perkarek, S., Prukner, V., 2012, Ozone Production Using a Power Modulated Surface Dielectric Barrier Discharge in Dry Synthetic Air, *Plasma Chem Plasma Process*

Tae, Ju-Won, Jang, Byung-Sik, Kim, Kyung-Hoon, Park, Dae-Won, 2005, Catalytic Degradation of Polystyrene Using Husy Catalysts. *Reaction Kinetics and Catalysis Letters*, Vol. 84, No. 1, 167–174

Tanabe, K., Misono, M., Yoshio, O., Hattori, H., 1989, *New Solid Acids And Bases* Vol. 51, Kondhansa, Jepang

Tuhu, A.R dan Hanry, S.W, 2010, Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Dengan Menggunakan Teknologi Plasma, Universitas Pembangunan Nasional

Walendziewski, Jerzy, 2005, Continuous flow cracking of waste plastics, *Fuel Processing Technology*, 86, 1265–1278