

PENGARUH VARIASI LAJU VOLUME AIR PENDINGIN DI KONDENSOR TERHADAP PERFORMANSI PROSES PIROLISIS PLASTIK *LOW DENSITY POLYTHYLENE* (LDPE)

Fahmi Mahardika, I Nengah Suarnadwipa, Made Ricki Murti
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Permasalahan sampah masih belum terselesaikan, dengan produksi sampah meningkat akibat pertumbuhan penduduk, pola konsumsi, dan gaya hidup; sampah organik mencapai 60-70%, sedangkan sampah plastik 14%, terutama kantong plastik. Metode pirolisis yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan gas berbahaya seperti CO_x, NO_x, SO_x digunakan untuk mengubah plastik menjadi bahan bakar minyak dengan karakteristik tertentu, di mana kondensor berperan penting dalam menentukan hasil minyak dengan metode air kondensor mengalir memberikan hasil lebih banyak dibandingkan metode lainnya, sehingga penelitian diperlukan untuk memvariasikan laju air pendingin pada kondensor untuk hasil pirolisis yang optimal. Tujuan daripada penelitian ini adalah untuk memahami pengaruh variasi laju volume air pendinginan di kondensor terhadap volume minyak, kapasitas pendingin, dan rasio hasil proses pirolisis. Penelitian ini menggunakan sampah plastik LDPE yang telah dipotong dengan ukuran 1 cm × 1 cm kemudian pada proses pirolisisnya memvariasikan laju air pendingin dengan nilai 0,08 L/menit, 2 L/menit, 6,1 L/menit, 7 L/menit, dan 7,8 L/menit. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah semakin tinggi laju aliran air pendinginan pada kondensor maka semakin banyak minyak yang dihasilkan proses pirolisis pada penelitian ini sebanyak 535 mL serta ada peningkatan rasio minyak terhadap plastik LDPE yang digunakan sebanyak 41,463%. Tetapi, pada penelitian ini semakin tinggi laju aliran air pendingin pada kondensor maka akan terjadi penurunan pada kapasitas pendinginan pada kondensor dengan nilai terendah 43,6559 Watt.

Kata kunci : Pirolisis, Plastik LDPE, Kondensor, Laju Air Pendinginan, Kapasitas Pendinginan

Abstract

The waste problem remains unresolved, with waste production increasing due to population growth, consumption patterns, and lifestyles; organic waste accounts for 60-70%, while plastic waste is 14%, especially plastic bags. Pyrolysis methods that are environmentally friendly and do not produce harmful gases such as CO_x, NO_x, SO_x are used to convert plastics into fuel oil with certain characteristics, where the condenser plays an important role in determining the oil yield with the condenser water flow method giving more results than other methods, so research is needed to vary the cooling water rate in the condenser for optimal pyrolysis results. The purpose of this study was to determine the effect of varying the volume rate of cooling water in the condenser on oil volume, cooling capacity, and pyrolysis process yield ratio. This research uses LDPE plastic waste that has been cut with a size of 1 cm × 1 cm then in the pyrolysis process varies the cooling water rate with a value of 0.08 L/min, 2 L/min, 6.1 L/min, 7 L/min, and 7.8 L/min. The results obtained in this study are the higher the cooling water flow rate in the condenser, the more oil produced in the pyrolysis process in this study as much as 535 mL and there is an increase in the ratio of oil to LDPE plastic used as much as 41.463%. However, in this study, the higher the cooling water flow rate in the condenser, there will be a decrease in the cooling capacity of the condenser with the lowest value of 43.6559 Watt.

Keywords: Pyrolysis, LDPE Plastic, Condenser, Cooling Water Rate, Cooling Capacity

1. Pendahuluan

Permasalahan sampah masih belum terselesaikan dalam konteks peningkatan produksi sampah seiring dengan perkembangan jumlah penduduk, kebiasaan konsumsi serta gaya hidup masyarakat yang berubah. Aktivitas manusia menghasilkan komposisi sampah sekitar 60-70% sampah organik dan 30-40% sisanya merupakan sampah non-organik, sedangkan komposisi sampah non-organik terbesar kedua yaitu 14% adalah sampah plastik. Sampah plastik yang terbanyak yaitu jenis kantong plastik atau kantong kresek selain plastik kemasan [1].

Pengelolaan sampah yang dilakukan saat ini hanya sekadar penggunaan kembali (*reuse*), daur ulang (*recycle*) serta pembakaran. Tetapi, masing-

masing dari metode tersebut memiliki beberapa kerugian. Kerugian dari *reuse* yakni beberapa jenis plastik tidak baik bagi kesehatan jika digunakan berulang kali. Berikutnya kelemahan dari daur ulang adalah plastik yang sudah didaur ulang menjadi barang plastik lagi akan kehilangan kualitas plastiknya. Kelemahan dari proses pembakaran ialah menghasilkan karbon monoksida yang berbahaya bagi lingkungan, dan juga dioksin yang dapat menyebabkan berbagai penyakit pada organisme. Karena pencemaran akibat pembakaran maka diperlukan cara lain yang lebih ramah lingkungan dan lebih aman bagi kesehatan. Metode daur ulang plastik menjadi bahan bakar minyak bisa dilakukan dengan menggunakan pirolisis.

Pirolisis ialah proses dekomposisi termal tanpa menggunakan oksigen. Proses tersebut mencegah

pembentukan CO_x, NO_x, SO_x sebab tidak ada oksigen yang terlibat pada proses ini. Pirolisis menguraikan rantai hidrokarbon menjadi rantai yang lebih kecil namun memerlukan suhu yang sangat panas dan durasi yang cukup lama. Fluida (minyak) yang dihasilkan dari proses pirolisis memiliki nilai oktan yang rendah dengan *pour point diesel* yang lebih tinggi dan lebih banyak residunya [2]. Pirolisis banyak digunakan dalam industri kimia, misalnya untuk produksi arang, karbon aktif, metanol dan bahan kimia lainnya dari kayu, konversi etilen diklorida menjadi vinil klorida untuk produksi PVC, produksi kokas dari batu bara, mengubah biomassa menjadi gas, mengubah limbah menjadi bahan sekali pakai yang aman, serta memotong rantai hidrokarbon dari rantai minyak yang panjang menjadi rantai sedang untuk menghasilkan rantai yang lebih pendek seperti bensin.

Pengolahan palstik akan menjadi lebih signifikan dampaknya jika dilakukan pada jenis plastik yang mempunyai jumlah yang paling banyak di lingkungan limbah. Plastik LDPE tercatat sebagai plastik dengan jumlah palimg banyak kedua di dunia [3]. Pirolisis yang dilakukan pada jenis plastik LDPE akan efektif menghasilkan minyak dengan karakteristik yang cukup baik pada antara suhu 260°C-300°C [4].

Proses pirolisis merupakan bagian terpenting pada peralatan destilasi uap, khususnya kondensor. Kondensor dievaluasi berdasarkan jenis dan desain yang mempengaruhi kinerja minyak yang dihasilkan melalui distilasi dan baik dari segi efisiensi dan kualitas. Saat mendinginkan uap minyak selama pirolisis, kondensor digunakan untuk mengembunkan uap panas dari plastik yang terbakar, yang akan menjadi bahan bakar solar atau bensin.

Produk yang dihasilkan alat pirolisis yang menggunakan metode air kondensor mengalir lebih banyak dibandingkan dengan metode air kondensor tidak mengalir [5]. Untuk mengetahui produk pirolisis yang baik maka diperlukan penelitian ini dengan memvariasikan laju air pendingin pada kondensor.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi laju volume air pendinginan di kondensor terhadap volume minyak, kapasitas pendingin, dan rasio hasil proses pirolisis plastik LDPE. Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi laju volume air terhadap performansi proses pirolisis plastik LDPE. Agar didapatkan hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan ini maka diperlukan pembatasan antara lain :

1. Jenis plastik yang akan digunakan pada penelitian ini ialah jenis plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*)
2. Mesin pirolisis yang digunakan memiliki spesifikasi kondensor tunggal dan jenis aliran pada heat exchanger yaitu counter flow
3. Karakteristik hasil pirolisis ini tidak diteliti lebih lanjut

4. Pengamatan dilakukan terhadap laju pendinginan proses pirolisis

2. Dasar Teori

2.1 Plastik

Plastik berasal dari polimer. Definisi paling sederhana dari polimer adalah sesuatu yang terdiri dari banyak unit molekul atau yang disebut rantai molekul [6]. Setiap mata rantai dalam rantai biasanya terbuat dari karbon, hidrogen, oksigen dan/atau silikon. Berdasarkan ketahanan panasnya, plastik dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni plastik *thermoplastic* dan plastik *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah salah satu jenis bahan plastik yang jika dipanaskan hingga suhu tertentu akan meleleh dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. *Thermosetting* adalah jenis plastik yang setelah diproduksi dalam bentuk padat, tidak dapat meleleh lagi jika dipanaskan.

LDPE merupakan plastik penghasil panas yang berasal dari minyak bumi dengan rumus molekul (-CH₂-CH₂)_n. Plastik jenis ini keras, tahan lama, tidak bereaksi dengan bahan kimia lain, dan mungkin merupakan plastik dengan kualitas terbaik. LDPE dapat ditemukan pada kantong plastik, botol, wadah, mainan, peralatan komputer, dan wadah cetakan.

2.2 Pirolisis

Pirolisis adalah proses penguraian bahan organik dengan panas tanpa oksigen [7]. Jika oksigen terdapat dalam reaktor pirolisis, maka akan bereaksi dengan material membentuk abu. Untuk menghilangkan oksigen, pirolisis seringkali dibantu dengan aliran gas inert berupa nitrogen untuk mengikat oksigen atau oksidan dan mengeluarkannya dari reaktor.

Selama proses pirolisis, rantai panjang senyawa karbon, hidrogen dan oksigen pada plastik dipecah menjadi molekul yang lebih kecil menjadi tiga wujud utama :

- Padat/*Solid* (umumnya karbon)
- Cairan/*Liquid* (air, tar, *bio-oil*, dan hidrokarbon yang lebih berat)
- Gas (C₆H₆, CO, C₂H₆, H₂O, CO₂, C₂H₄, C₂H₂, dll)

2.3 Kondensor

Kondensor ialah salah satu jenis instrumen penukar kalor yang mempunyai fungsi mengembunkan fluida kerja [8]. Kondensor dapat mengubah fase gas menjadi cair yang dari suhu tinggi melalui dinding kondensor sebagai media kondensasi, sehingga uap akan didinginkan hingga fasa tersebut berubah menjadi fasa cair yang bersuhu rendah. Kondensor mempunyai dua jenis proses perpindahan panas, yaitu perpindahan panas konduksi dan perpindahan panas konveksi.

$$Q_c = \dot{m}_c C_p (T_o - T_i) \quad (1)$$

Dimana : Q_c = kapasitas pendinginan (Watt)

\dot{m}_c = laju aliran massa fluida pendingin (kg/s)

C_p = kalor spesifik fluida pendingin

$$T_o = \text{temperatur fluida keluar } (^{\circ}\text{C})$$

$$T_i = \text{temperatur fluida masuk } (^{\circ}\text{C})$$

3. Metode Penelitian

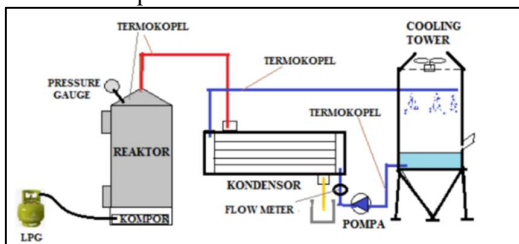
3.1 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan plastik LDPE yang sebagai kantong makanan atau kantong kresek di pusat perbelanjaan kemudian dipotong dengan ukuran 1 cm × 1 cm.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Alat Pirolisis

Alat yang berfungsi untuk melakukan proses pirolisis plastik LDPE sehingga memperoleh produk pirolisis sesuai dengan tujuan. Skema rancangan alat pirolisis dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Skematik Rancangan Penelitian Kapasitas pendinginan pada Pengembangan Sistem Pirolisis Limbah Plastik

2. Timbangan Digital

Timbangan digital berfungsi untuk mengetahui massa plastik LDPE yang akan digunakan untuk pada proses pirolisis dan hasil minyak pirolisis plastik LDPE.

3. Gunting

Gunting berfungsi untuk memotong plastik LDPE yang akan digunakan.

4. Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur volume minyak hasil proses pirolisis plastik LDPE.

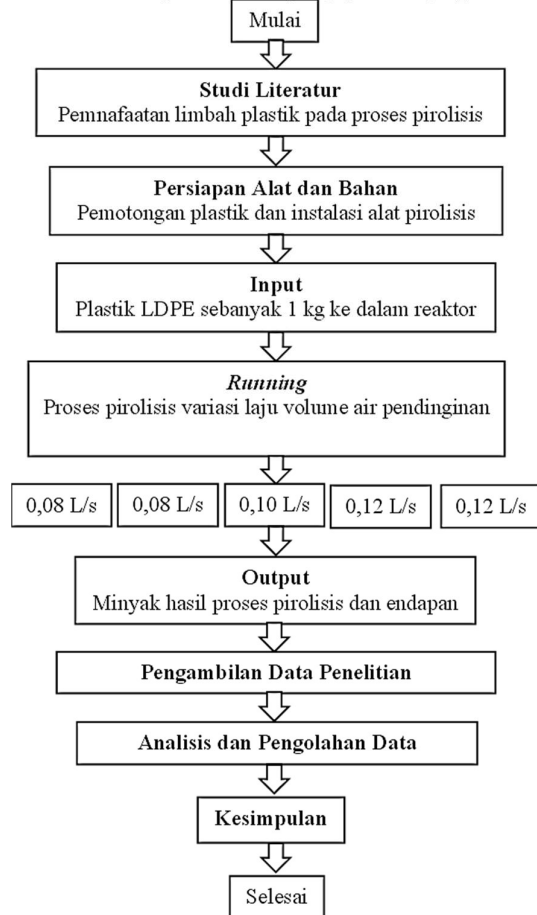
5. Stopwatch

Stopwatch berfungsi untuk menghitung waktu volume yang keluar saat proses pirolisis plastik LDPE

Prosedur proses pirolisis yang dilakukan yaitu:

- Set up alat.
- Masukkan limbah plastik LDPE ke dalam reaktor pirolisis sebanyak 1 kg.
- Sirkulasikan air pendingin dengan menyalakan pompa dan fan cooling tower. Laju aliran air pendingin diatur dengan mengatur katup sehingga flow meter menunjukkan 0,08 liter/menit.
- Nyalakan kompor pada bukaan regulator maksimum.
- Proses pirolisis ini akan bekerja selama gas elpiji habis.

- Hentikan pengoperasian sampai pirolisis selesai, sampai tidak terbentuknya kondensat.
- Ambil massa padatan dalam reaktor sisa proses pirolisis serta hasil minyak kemudian timbang massanya.
- Ulangi langkah 2 sampai 6 untuk variasi laju aliran volume air pendingin berikutnya dan berikan jeda 1 jam di setiap pengujian variasi laju aliran volume air pendingin.
- Selesai, jika setelah pengujian lengkap.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

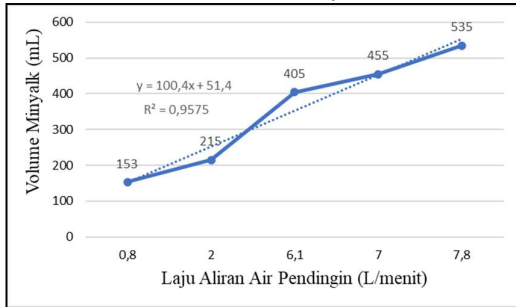
4.1 Hasil Minyak Pirolisis



Laju Aliran Volume Air Pendinginan (L/menit)	Volume Hasil Minyak (mL)	Suhu Rata-Rata Air Pendingin (°C)		Massa Minyak Hasil Pirolisis (g)	Residu (g)
		Air Masuk	Air Keluar		
0,8	153	30,98	34,49	117,23	672
2	215	30,7	31,97	165,76	556
6,1	405	33,86	34,17	313,47	420
7	455	32,93	33,02	353,08	398
7,8	535	32,76	33,1	414,63	379

Tabel 1. Data Hasil Penelitian Proses Pirolisis Plastik LDPE

4.2 Analisis Data Hasil Minyak Pirolisis



Gambar 3 Grafik Hubungan Laju Aliran Air Pendingin dengan Hasil Volume Minyak

Terlihat pada Gambar 3, bahwa volume minyak yang dihasilkan bertambah seiring dengan bertambahnya laju volume air pendingin kondensor. Pada variasi aliran air pendingin 7,8 L/menit memiliki hasil jumlah hasil volume minyak yang paling tertinggi dan hasil jumlah volume minyak hasil kondensasi terendah didapatkan pada variasi debit 0,8 L/menit pada kondensor. Dimana panas yang ada akan dialirkan dan dibuang serta diganti atau diisi ulang dengan air pendingin baru agar kondensor tetap dingin [9]

4.3 Analisis Kapasitas Pendinginan Proses Pirolisis

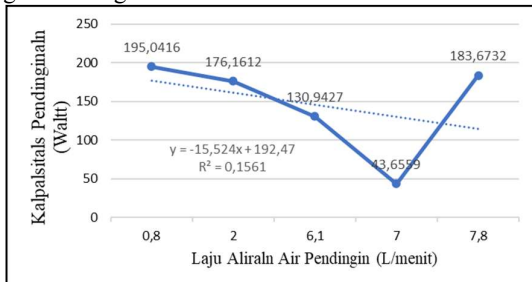
Untuk menghitung kapasitas pendinginan pada kondensor maka dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q_{c1} = \dot{m}_{c1} C_p (T_o - T_i)$$

$$Q_{c1} = 0,0133 \times 4178(34,49 - 30,98)$$

$$Q_{c1} = 195,0416 \text{ Watt}$$

Dengan perhitungan yang sama untuk kapasitas pendinginan lain maka dapat dilihat pada grafik sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Hubungan Laju Aliran Air Pendingin dengan Kapasitas Pendinginan

Terlihat pada Gambar 4 bahwa semakin bertambahnya laju volume air maka semakin berkurang kapasitas pendinginannya. Variasi laju volume 0,8 L/menit menghasilkan nilai kapasitas pendinginan paling tinggi dengan nilai 195,0416 Watt, dan pada variasi laju volume 7 L/menit menghasilkan nilai kapasitas pendinginan paling rendah dengan nilai 43,6559 Watt. Penyebabnya adalah semakin besar laju aliran air pendingin akan semakin banyak pula kalor yang diserap oleh air pendingin sehingga perbedaan suhu air pendingin masuk dan keluar tidak tinggi.

Laju perpindahan panas di kondensor sangat dipengaruhi oleh laju aliran air pendingin. Semakin cepatnya laju aliran pendingin maka semakin cepat pula laju perpindahan panas yang terjadi di kondensor [10]. Hal tersebut disebabkan sebab panas yang dibuang oleh kondensor cenderung bertambah yang seiring dengan bertambahnya laju volume air pendingin yang digunakan pada proses pirolisis tersebut.

4.4 Analisis Rasio Minyak terhadap Plastik LDPE

Laju Aliran Air Pendingin (L/menit)	Massa Minyak Hasil Pirolisis (g)	Massa Plastik LDPE (g)	Rasio
0,8	117,23	1000	11,723 %
2	166,14	1000	16,614 %
6,1	313,47	1000	31,347 %
7	353,08	1000	35,308 %
7,8	414,63	1000	41,463 %

Tabel 2. Rasio Minyak yang Dihasilkan dengan massa Plastik

Terlihat pada tabel 2, pada laju aliran air pendingin 0,8 L/menit memiliki nilai rasio hasil minyak yang paling rendah dengan nilai 11,723 % dan pada laju aliran air pendingin 7,8 L/menit memiliki nilai rasio yang paling tinggi dengan nilai 41,463 % sehingga semakin rendah laju air pendingin maka semakin tinggi temperatur air pendingin yang keluar dari kondensor semakin tinggi karena proses penyerapan panas lebih lambat. Hal ini dikarenakan semakin rendah laju air pendingin yang masuk pada kondensor maka kecepatan laju aliran air pendingin juga akan semakin rendah sehingga kontak air akan semakin lama sehingga menyebabkan temperatur air pendingin akan semakin meningkat [11].

Hal itu menyebabkan rasio perubahan plastik ke minyak yang dihasilkan. Semakin tinggi laju aliran air pendingin maka semakin tinggi pula perubahan minyak yang didapatkan oleh proses pirolisis karena uap panas minyak berhasil didinginkan dengan baik.

5. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian yang didapat bisa disimpulkan bahwa untuk menghasilkan minyak yang semakin banyak maka laju aliran air pendinginan pada kondensor harus semakin tinggi, minyak yang dihasilkan pada proses pirolisis pada penelitian ini sebanyak 535 mL serta ada peningkatan

rasio minyak terhadap plastik LDPE yang digunakan sebanyak 41,463%. Tetapi, pada penelitian ini semakin tinggi laju aliran air pendingin pada kondensor maka akan terjadi penurunan pada kapasitas pendinginan pada kondensor dengan nilai terendah 43,6559 Watt.

Power Plants," *Thermal Science*, pp. 53-66, 2010.

- [11] T. Sutandi and Markus, "Uji Performansi Sistem Refrigerasi dengan Variasi Debit Air Pada Waret-Cooled Condenser," *Journal Of Refrigeration*, pp. 608-6012, 2011.

Daftar Pustaka

- [1] P. Purwaningrum, "Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik," pp. 141-147, 2016.
- [2] R. J. A and P. R, "Conversion of Plastics Wastes Into Luquid Fuels A Review," *Recent Advances in Bioenergy Research*, vol. III.
- [3] D. A. Sharuddin, "A Review on Pyrolysis of Plastic Wastes," *Energy Conversion and Management*, no. 115, pp. 308-326, 2016.
- [4] I. K. Nasrun, "Studi Awal Produksi Bahan Bakar dan Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal 5 (1)*, pp. 30-44, 2016.
- [5] Mustaqim, "Pengaruh Air Pendingin Kondensor Terhadap Proses Pengembunan Proses Pirolisis," 2019.
- [6] Q. Rachmawati, *Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2015.
- [7] D. Mustofa K., *Pirolisis Sampah Plastik Hingga Suhu 900oC Sebagai Upaya Menghasilkan Bahan Bakar Ramah Lingkungan*, Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta, 2014.
- [8] S. Haryadi, *Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Pada Kondensor Terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik*, Semarang: Universitas Negeri Semarang, 2015.
- [9] K. Riduan and I. G. A. J., "Pengaruh Media Pendingin Air Pada Kondensor Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin," *TURBO*, pp. 1-6, 2014.
- [10] S. L. Mirjana, M. M. Stojiljkovic, . S. V. Lakovic, V. P. Stefanovic and D. D. Mitrovic, "Impact Of The Cold end Operating Conditions On Energy Efficiency Of The Stem

	<p>Fahmi Mahardika menyelesaikan pendidikan SMA di SMAN 4 Surabaya pada tahun 2019, kemudian mengambil S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2019. Pada tugas akhir melakukan penelitian pirolisis dengan judul skripsi "Pengaruh Variasi Laju Volume Air Pendingin Di Kondensor Terhadap Performansi Proses Pirolisis Plastik <i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)".</p>