

PIROLISIS SAMPAH PLASTIK POLIPROPILENA: TINJAUAN PENGARUH SUHU PADA REAKTOR PIROLISIS KAPASITAS 1 KG/BATCH

(Pyrolysis of Polypropylene Plastic Waste :Overview of Effect of Temperature on Pyrolysis Reactors in Capacity of 1 Kg/batch)

Yoel Pasae¹⁾, Lyse Bulu¹⁾, Chrisnovan Lande¹⁾, Eda Lolo Allo²⁾

1) Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 13 Makassar, 90241

2) Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Makassar

Email korespondensi: ypasae@ukipaulus.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan plastik yang semakin tinggi menjadikan sampah plastik sebagai penyumbang kerusakan lingkungan nomor satu di dunia. Jenis plastik yang paling banyak dijumpai sebagai sampah adalah Polipropilena (PP). Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah mengkonversi plastik menjadi minyak cair, yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan dalam industri kimia maupun sebagai bahan bakar alternatif. Pirolisis adalah salah satu teknologi yang umum diterapkan untuk mengkonversi plastik menjadi minyak cair, dan dapat dilakukan oleh masyarakat. Namun ketersediaan reaktor pirolisis yang mudah dan aman dioperasikan menjadi hal yang perlu mendapat perhatian. Pada penelitian ini telah dibuat reaktor pirolisis berkapasitas 1 kg/batch yang dimodifikasi dari tabung gas. Proses pirolisis telah dilangsungkan pada suhu 250°C, 275°C, 300°C, 325°C, dan 350°C dengan waktu reaksi 120 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pirolisis pada suhu 350°C dapat menghasilkan yield tertinggi sebesar 62,56%. Melalui pengujian dengan menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS) diketahui bahwa minyak cair yang diperoleh terdiri atas beberapa kelompok senyawa atau turunan dari Hexana, Heptana, Isotridecanol, Dodecana, Cyclohexana, Benzene, Pentana, dan Otana.

Kata Kunci: Pirolisis, Sampah Plastik, Polipropilen.

ABSTRACT

The increasing use of plastic makes plastic waste the number one contributor to environmental damage in the world. The type of plastic that is most often found as waste is Polypropylene (PP). One way to overcome this problem is to convert plastic into liquid oil, which can be used for various purposes in the chemical industry or as an alternative fuel. Pyrolysis is a technology commonly used to convert plastics into liquid oil, and can be done by the public. But the availability of pyrolysis reactors that are easy and safe to operate is something that needs attention. In this research, a pyrolysis reactor with a capacity of 1 kg / batch has been modified from a gas cylinder. The pyrolysis process was carried out at 250°C, 275°C, 300°C, 325°C and 350°C with a reaction time of 120 minutes. The results showed that pyrolysis at 350°C can produce the highest yield of 62.56%. Through testing using Gas Chromatography-Mass Spectroscopy it is known that the liquid oil obtained consists of several groups of compounds or derivatives from Hexane, Heptane, Isotridecanol, Dodecana, Cyclohexana, Benzene, Pentane, and Octane.

Keyword : Pyrolysis, Plastic Waste, Polypropylene..

1. PENDAHULUAN

Konsekuensi logis dari perkembangan kota akibat pertumbuhan penduduk dan pergeseran pola hidup masyarakat adalah meningkatnya kuantitas sampah. Sampah yang berbahan plastik merupakan jenis sampah penyumbang kerusakan lingkungan

nomor satu di dunia, khususnya di perkotaan [1]. Meskipun demikian, penggunaan plastik masih mendominasi dalam kegiatan sehari-hari seperti yang sering dijumpai di supermarket, minimarket, warung, dan di rumah tangga.

Plastik adalah polimer yang berasal dari

residu minyak bumi. Secara garis besar plastik dapat digolongkan menjadi dua jenis, yakni plastik yang bersifat *thermoplastic* dan yang bersifat *thermoset* [2]. Dari kedua jenis plastik ini, *thermoplastic* merupakan plastik yang paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Thermoplastic* merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang atau dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Contoh: polietilen (PE), polistiren (PS), ABS, polikarbonat (PC). Sedangkan *Thermoset* adalah jenis plastik yang tidak bisa didaur ulang atau dicetak lagi [3].

Dalam penggunaan sehari-hari jenis plastik dikenal dengan beberapa nama yaitu *Polyethylene terephthalate* (PETE), digunakan sebagai bahan untuk pembuatan botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, botol jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik. *High density Poli Etilen* (HDPE), digunakan sebagai bahan untuk botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik. *Polyvinyl Chloride* (PVC) digunakan untuk pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal. *Low-density Polyethylene* (LDPE), digunakan sebagai bahan kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya. PP *Polypropylene* atau *Polypropene* (PP) digunakan untuk cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan plastik kemasan margarin, tutup botol dari plastik, dan mainan anak. *Polystyrene* (PS) digunakan untuk kotak *compact disk*, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, serta tempat makan plastik transparan. Jenis plastik lainnya selain ke-6 yang telah disebutkan adalah Other (O). Jenis plastik ini digunakan untuk botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego [4].

Pemakaian plastik yang cukup luas tersebut membuat ketergantungan manusia terhadap bahan-bahan yang terbuat dari plastik, sehingga tidak dapat dihindarkan pula

bahwa plastik merupakan limbah non organik yang mendominasi penyebab kerusakan lingkungan. Jenis plastik yang paling banyak dijumpai mencemari lingkungan adalah PP sebesar 30,19 %, karena penggunaannya sebagai kemasan makanan, minuman, dan berbagai jenis kantong plastik [5]. Oleh karena itu, masalah yang harus diatasi adalah penanganan limbah plastik PP setelah penggunaannya, agar tidak dibuang ke lingkungan.

Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan limbah plastik adalah mengkonversi plastik tersebut menjadi senyawa penyusunnya atau senyawa lain dalam wujud cair sehingga dapat digunakan sebagai bahan kimia atau sebagai bahan bakar cair [6]. Terdapat 3 (tiga) metode yang dapat diterapkan untuk mengkonversi plastik menjadi bahan bakar cair yaitu *hydro cracking*, *termal cracking* dan *catalytic cracking*. *Hydro cracking* adalah proses *cracking* dengan mereaksikan plastik bersama hidrogen di dalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada suhu antara 423 – 673 K dan tekanan hidrogen sebesar 3 – 10 MPa. *Thermal cracking* termasuk proses pirolisis, adalah cara memanaskan bahan polimer tanpa oksigen. Proses ini biasanya dilakukan pada suhu antara 350°C sampai 900°C. Sedangkan *catalytic cracking*, adalah proses *cracking* yang menggunakan katalis untuk melakukan reaksi perekaan. Dengan adanya katalis, maka suhu dan waktu reaksi dapat dikurangi [5].

Penelitian mengenai pirolisis sampah plastik telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Pirolisis sampah plastik PP 500 gram dengan bantuan katalis zeolite yang dilakukan pada suhu 250°C, 300°C, dan 400°C selama dalam waktu 60 menit, menunjukkan hasil dihasilkan *yield* minyak tertinggi dengan persentase terbesar pada suhu 400°C sebesar 50,08% [7]. Pirolisis yang menggunakan *Pilot Scale batch pyrolysis reactor* yang dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis pada suhu 450°C dan waktu 75 menit diperoleh *yield* sebesar 81% [8]. Kedua penelitian di atas memberikan

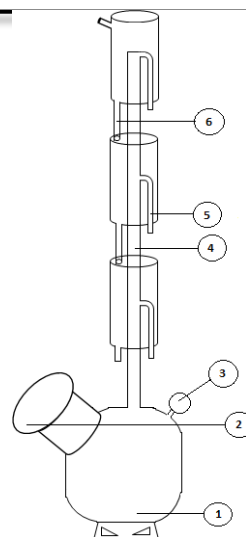
perlakuan yang berbeda yakni menggunakan zeolite sebagai katalis serta menggunakan alat reaktor dengan sistem kontrol otomatis yang tentunya membutuhkan biaya yang tinggi untuk pengadaannya. Keduanya membutuhkan biaya tambahan pada pengadaan katalis, serta pengadaan dan pengoperasian peralatan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan peralatan yang berbiaya murah dan pengoperasiannya juga mudah sehingga dapat digunakan oleh masyarakat secara umum.

Fokus penelitian ini yaitu mempelajari pengaruh beberapa suhu reaksi pada proses pirolisis sampah plastik PP tanpa katalis dengan menggunakan reaktor kapasitas 1 Kg/batch yang dimodifikasi dari tabung gas 3 kg.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Sampah plastik yang digunakan dalam penelitian ini adalah bekas kemasan air mineral berupa botol dan gelas plastik jenis PP yang diperoleh dan dikumpulkan dari bank sampah di Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar.

Reaktor yang digunakan dimodifikasi dari tabung gas 3 kg, yang dilengkapi dengan kondensor sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1. Spesifikasi tabung reaktor yaitu diameter luar 260 mm, diameter dalam 254 mm, tinggi 300 mm, tebal pelat 3 mm, dan tekanan minimum 18,6 kg/cm² [9]. Kondensor tipe *double pipe* dengan panjang 1,5 meter terbuat dari pipa stainless ukuran ½ in untuk pipa dalam, dan ukuran 1 in untuk pipa luar, dengan arah aliran *counter current* menggunakan media pendingin air pada suhu 15°C. Pemanas reaktor menggunakan kompor gas.



Keterangan gambar:

1. Tabung reaktor
2. Input bahan baku
3. Kontrol suhu
4. Pipa dalam kondensor
5. Output produk
6. Pipa air

Gambar 1. Desain Reaktor Pirolisis 1 kg/batch

Tahapan proses pirolisis yang dilakukan terdiri atas:

1. Tahap penyiapan bahan baku; sampah plastik dicuci, kemudian dikeringkan dengan cara di jemur. Selanjutnya plastik dipotong-potong kecil dengan ukuran kurang lebih 2 cm.
2. Tahap pirolisis; 1 kg plastik dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian reaktor ditutup rapat. Air pendingin kondensor dijalankan, dan selanjutnya dilakukan pemanasan selama 120 menit dengan menggunakan kompor. Minyak cair yang dihasilkan ditampung dalam botol penampungan untuk selanjutnya dianalisa. Selanjutnya reaktor didinginkan dan bahan yang tidak terkonversi dikeluarkan dari reaktor. Tahap pirolisis ini dilakukan masing-masing pada suhu 250°C, 275°C, 300°C, 325°C, dan 350°C.
3. Tahap analisa produk; produk berupa minyak cair yang dihasilkan dianalisa komposisinya menggunakan GC-MS.

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian proses pirolisis dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui secara berturut-turut *yield* yang dihasilkan pada masing-masing suhu reaksi adalah 8 % (250°C); 9,2 % (275°C); 21,16 % (300°C);

29,98 % (325°C); dan 62,56 % (350°C).

Tabel 1. Kondisi dan Perolehan Reaksi Pirolisis Plastik PP

Run	Bahan Baku (Kg)	Waktu reaksi (menit)	Suhu (°C)	Jumlah Produk (ml)	Yield (%)
1	1	120	250	87	8
2	1	120	275	100	9,2
3	1	120	300	230	21,16
4	1	120	325	315	28,98
5	1	120	350	680	62,56

*) Massa Jenis Polipropilen 0,91 – 0,92 g/mL

Ketika suhu reaksi mencapai 250°C, produk minyak cair sudah mulai menetes dari kondensor, dalam waktu reaksi selama 120 menit banyaknya minyak yang diperoleh hanya 87 ml, sehingga bahan baku dalam reaktor masih tersisa cukup banyak dan menyerupai lilin. Demikian pula halnya proses yang dilakukan pada suhu 275°C, 300°C, dan 325°C belum optimal. Namun demikian terdapat kenaikan sebesar 25 ml dari proses pada suhu 250°C ke 275°C; 130 ml dari proses 275°C ke 300°C; dan 85 ml dari 300°C ke 325°C.

Kondisi optimum penelitian ini dicapai pada proses pirolisis yang dilangsungkan pada suhu 350°C dengan perolehan sebanyak 680 ml (62,56%). Terdapat kenaikan perolehan minyak sebesar 365 ml dari proses pada suhu 325°C ke 350°C. Proses pada suhu 350°C selama 2 jam telah mengkonversi seluruh bahan baku plastik menjadi minyak cair. Hal ini ditandai dengan tidak dijumpainya lilin atau bahan sisa dalam reaktor. Jika hasil penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [7] maka yield minyak cair yang diperoleh dalam penelitian ini masih lebih tinggi sekitar 12,48% tetapi lebih rendah sekitar 18,44% dari penelitian yang dilaporkan oleh Miandad dkk. [8].

Berdasarkan hasil penelitian tersebut diketahui bahwa hubungan antara suhu reaksi terhadap yield adalah linear yang berarti semakin tinggi suhu, maka akan semakin tinggi pula yield minyak cair yang dihasilkan.

Miandad dkk., mengutarakan bahwa karakteristik minyak cair dari hasil pirolisis

PP yaitu viskositas 1,92 – 2,09 cSt, densitas 0,91 – 0,92 g/cm³, pour point -11 s.d -60°C, *freezing point* -15 sampai -60°C, flash point 28,1 – 30,2°C dan HHV 41,4 – 41,8 MJ/kg [8].

Hasil analisa GC-MS tentang komposisi senyawa yang terdapat dalam minyak hasil pirolisis disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi minyak hasil analisis GC-MS

No	Nama Senyawa	Jumlah (%)
1	1-Hexadecanesulfonyl chloride	18,20
2	1-Hexadecanol, 3,7,11,15-Tetramethyl	12,43
3	1-Heptanol, 2,4-diethyl	10,59
4	Isotridecanol	8,04
5	2-isopropyl-5-methyl-1- heptanol	6,87
6	Dodecane, 4,6-dimethyl	4,87
7	Cyclohexane, 1,2,3,5-tetraisopropyl (2,2,6,6-Tetramethylcyclohexyl)	4,60
8	Methanol	4,00
9	1,22-Docosanediol	3,88
10	1-Hentetracontanol	3,50
11	Bicyclo[3.1.1] heptan-2-one, 6,6-dimethyl	2,82
12	Pentadecane, 8-Hexyl	2,28
13	Cyclododecanemethanol	2,25
14	1-Octacosanol, 2,4,6,8-tetramethyl-(all-R)	2,14
15	Tetrapentacontane, 1,54-dibromo-	1,78
16	1-Octanol, 2-butyl	1,72
17	1-Eicosanol	1,66
18	1,2-Benzenedicarboxylic Acid	1,41
19	1-Methyl-3-Propylcyclooctane	1,10
20	Cyclohexane, 1-ethyl-1,3-dimethyl-, trans	0,92
21	1,54-Dibromotetrapentacontane	0,75
22	10-Dodecen-1-ol, 7,11-dimethyl	0,74
23	11-Dodecen-1-ol, 2,4,6-trimethyl-, (R,R,R)-	0,60
24	Heneicosane, 11-(1-ethylpropyl)	0,52
25	Dichloroacetic acid, 6-ethyl-3-octyl ester	0,48
26	1,2,3,5-Tetraisopropylcyclohexane	0,45
27	Cyclohexane, 1,1'-(1-Methylethylidene)Bis	0,35
28	2,6-Dodecadiene, 2,6-dimethyl	0,34
29	Cyclohexane, 1-Ethyl-2-Propyl	0,28
30	1-Nonadecene	0,26
31	1-Pentacontanol	0,19

Berdasarkan data pada Tabel 2, diketahui bahwa terdapat 31 (tiga puluh satu) jenis

senyawa kimia yang terdapat dalam minyak hasil pirolisis PP. Diantara senyawa-senyawa tersebut terdapat 3 (tiga) komponen mayor yaitu 1-Hexadecanesulfonyl chloride (18,20%), 1-Hexadecanol, 3,7,11,15-Tetramethyl (12,43%), 1-Heptanol, 2,4-diethyl (10,59). Komponen menengah ada 7 (tujuh) senyawa yaitu Isotridecanol (8,04%), 2-isopropyl-5-methyl-1-heptanol (6,87%), Dodecane, 4,6-dimethyl (4,87%), Cyclohexane, 1,2,3,5-tetraisopropyl (4,60%), (2,2,6,6-Tetramethylcyclohexyl) Methanol (4,0%), 1,22-Docosanediol (3,88%), 1-Hentetracontanol (3,50%). Sedangkan komponen minor terdiri atas 21 (dua puluh satu) senyawa. Data GC-MS mengkonfirmasi bahwa minyak hasil pirolisis yang dihasilkan terdiri atas beberapa kelompok senyawa ataupun turunan dari Heksana, Heptana, Isotridecanol, Dodecana, Cyclohexana, Benzene, Pentana, dan Octana. Jung S dkk, mengutarakan bahwa umumnya minyak hasil pirolisis PP terdiri atas senyawa-senyawa alifatik serta senyawa mono dan poli aromatik [10]. Demikian pula halnya Suriapparao D dkk, mengkonfirmasi bahwa senyawa-senyawa dalam minyak hasil pirolisis PP didominasi oleh senyawa hidrokarbon alifatik [11].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Suhu sangat berpengaruh pada proses pirolisis. Semakin tinggi suhu maka semakin tinggi pula yield minyak hasil pirolisis yang dapat diperoleh. Suhu optimum pada penelitian ini adalah 350°C, dengan yield tertinggi 62,56% untuk waktu reaksi 120 menit.
2. Minyak hasil pirolisis terdiri atas 3 (tiga) komponen mayor, 7 (tujuh) komponen menengah dan 21 (dua puluh satu) komponen minor. Komponen-komponen tersebut utamanya terdiri atas beberapa kelompok senyawa ataupun turunan dari Heksana, Heptana, Isotridecanol,

Dodecana, Cyclohexana, Benzene, Pentana, dan Octana.

3. Reaktor pirolisis kapasitas 1 kg/batch untuk mengolah limbah plastik PP yang digunakan dalam penelitian ini dapat di *scale-up* pada untuk kapasitas yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Kristen Indonesia Paulus yang telah membantu pendanaan penelitian ini melalui Skim Penelitian Institusi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Miandad, M. A. Barakat, A. S. Aburiazaiza, M. Rehan, and A. S. Nizami, "Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 102, pp. 822–838, 2016, doi: 10.1016/j.psep.2016.06.022.
- [2] I. Okatama, "Analisa Peleburan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terphthalate (Pet) Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 3, p. 20, 2017, doi: 10.22441/jtm.v5i3.1213.
- [3] Y. Zheng, E. K. Yanful, and A. S. Bassi, "A review of plastic waste biodegradation," *Crit. Rev. Biotechnol.*, vol. 25, no. 4, pp. 243–250, 2005, doi: 10.1080/07388550500346359.
- [4] S. Naimah *et al.*, "Dekomposisi Limbah Plastik Polypropylene Dengan Metode Pirolisis," *J. Sains Mater. Indones. J. Mater. Sci.*, vol. 13, no. 3, pp. 226–229, 2012.
- [5] P. Purwaningrum, "Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik Di Lingkungan," *Indones. J. Urban Environ. Technol.*, vol. 8, no. 2, p. 141, 2016, doi: 10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421.

-
- [6] M. Z. H. Khan, M. Sultana, M. R. Al-Mamun, and M. R. Hasan, "Pyrolytic Waste Plastic Oil and Its Diesel Blend: Fuel Characterization," *J. Environ. Public Health*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/7869080.
 - [7] E. K. G. Mukhtar, and dkk, "Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak," *Pengemb. Teknol. Kim. untuk Pengolah. Sumber Daya Alam Indones.*, vol. ISSN 1693-, pp. 1–7, 2016.
 - [8] R. Miandad *et al.*, "Influence of temperature and reaction time on the conversion of polystyrene waste to pyrolysis liquid oil," *Waste Manag.*, vol. 58, pp. 250–259, 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2016.09.023.
 - [9] J. Mulyanti, E. Susanto, and T. A. Putra, "Karakterisasi Kekuatan Material Tabung Gas Elpiji 3 Kg Standar SNI dan non-SNI," *J. Tek.*, vol. 2, no. 1, pp. 53–59, 2012.
 - [10] S. H. Jung, M. H. Cho, B. S. Kang, and J. S. Kim, "Pyrolysis of a fraction of waste polypropylene and polyethylene for the recovery of BTX aromatics using a fluidized bed reactor," *Fuel Process. Technol.*, vol. 91, no. 3, pp. 277–284, 2010, doi: 10.1016/j.fuproc.2009.10.009.
 - [11] D. V. Suriapparao, B. Boruah, D. Raja, and R. Vinu, "Microwave assisted co-pyrolysis of biomasses with polypropylene and polystyrene for high quality bio-oil production," *Fuel Process. Technol.*, vol. 175, no. February, pp. 64–75, 2018, doi: 10.1016/j.fuproc.2018.02.019.