

KAJIAN PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK SEBAGAI SUMBER BAHAN BAKAR CAIR

Kadir

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Haluoleo, Kendari

E-mail: kadirunhalu@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang Alat Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar, mengetahui pengolahan sampah plastik jenis PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), dan PET (*Polypropylene Terephtalate*), mengetahui karakteristik bahan bakar yang dihasilkan oleh sampah plastik jenis PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), PET (*Polypropylene Terephtalate*) melalui pengamatan visual. Metode penelitian ini adalah mengetahui waktu dan temperatur nyala api yang digunakan untuk membakar sampah plastik jenis PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), dan PET (*Polypropylene Terephtalate*), mengetahui jumlah bahan bakar yang digunakan dan jumlah bahan bakar yang dihasilkan, mengetahui temperatur nyala api bahan bakar yang dihasilkan dari sampah plastik jenis PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), dan PET (*Polypropylene Terephtalate*), dengan temperatur nyala api bensin dan minyak tanah. Hasil penelitian dilakukan secara visual dengan cara membakar bahan bakar yang dihasilkan dari sampah plastik jenis PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), dan PET (*Polypropylene Terephtalate*), dan mengetahui temperatur nyala api dengan temperatur nyala api minyak tanah dan bensin.

Kata kunci : Plastik PP, HDPE, dan PET, Bahan Bakar

Abstract

The Study of Plastic Waste utilization for liquid Fuel resource. The objective of this research is to design the tools of Plastic Waste Being Fuels, to find out the type of plastic waste PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), and PET (*Polypropylene Terephtalate*), to find out the characteristics of the fuel produced by the plastic waste types of PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), PET (*Polypropylene Terephtalate*) through visual observation. The method of this study was to determine the time and temperature of the flame used to burn waste plastic type PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), and PET (*Polypropylene Terephtalate*), determine the amount of fuel used and the amount of fuel produced, knowing flame temperature of fuel produced from waste plastic type PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), and PET (*Polypropylene Terephtalate*), with a flame temperature of gasoline and kerosene. The results of the research done visually by means of burning fuel produced from waste plastic type PP (*Polypropylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), and PET (*Polypropylene Terephtalate*), and know the temperature of the flame with a flame temperature of kerosene and gasoline.

Key words: Plastic PP, HDPE and PET, liquid fuel

1. Pendahuluan

Sampah plastik menjadi masalah lingkungan berskala global. Plastik banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari, karena mempunyai keunggulan-keunggulan seperti kuat, ringan dan stabil. Namun plastik yang beredar di pasaran saat ini merupakan polimer sintetik yang terbuat dari minyak bumi yang sulit untuk terurai di alam. Akibatnya semakin banyak yang

menggunakan plastik, akan semakin meningkat pula pencemaran lingkungan seperti pencemaran tanah. Oleh karena itu kami memerlukan solusi untuk mengatasi masalah lingkungan ini, salah satunya yaitu mengembangkan bahan plastik *biodegradable* (bioplastik). Artinya plastik ini dapat diuraikan kembali oleh mikroorganisme secara alami menjadi senyawa yang ramah lingkungan. Pengembangan bahan plastik *biodegradable* menggunakan bahan alam

yang terbaharui (*renewable resources*) sangat diharapkan. Bahan plastik dalam pemanfaatannya di kehidupan manusia memang tak dapat dielakkan. Sebagian besar penduduk di dunia memanfaatkan plastik dalam menjalankan aktivitasnya. Berdasarkan data Environmental Protection Agency (EPA) Amerika Serikat, pada tahun 2001, penduduk Amerika Serikat menggunakan sedikitnya 25 juta ton plastik setiap tahunnya. Belum ditambah pengguna plastik di negara lainnya. Bukan suatu yang mengherankan jika plastik banyak digunakan. Plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya. Secara umum, plastik memiliki densitas yang rendah, bersifat isolasi terhadap listrik, mempunyai kekuatan mekanik yang bervariasi, ketahanan suhu terbatas, serta ketahanan bahan kimia yang bervariasi. Selain itu, plastik juga ringan, mudah dalam perancangan, dan biaya pembuatan murah. Sayangnya, di balik segala kelebihan itu, limbah plastik menimbulkan masalah bagi lingkungan. Penyebabnya tak lain sifat plastik yang tidak dapat diuraikan dalam tanah. Perlu waktu berpuluh-puluh tahun untuk tanah menguraikan limbah plastik dari bahan plastik tersebut.

Untuk mengatasinya, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Salah satunya dengan cara mendaur ulang limbah plastik. Namun, cara ini tidaklah terlalu efektif. Hanya sekitar 4% yang dapat didaur ulang, sisanya menggenangi di tempat penampungan sampah. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui potensi pengolahan limbah plastik menjadi bahan cair yang dapat diandalkan.

Plastik

Plastik adalah polimer rantai panjang dari atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau "monomer". Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik, namun ada beberapa polimer alami yang termasuk plastik. Plastik terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terdiri dari zat lain untuk meningkatkan performa atau ekonomi (Wikipedia, 2009; Azizah, 2009).

Plastik merupakan material yang secara luas dikembangkan dan digunakan sejak abad ke-20 yang berkembang secara luar biasa penggunaannya dari hanya beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, menjadi 220 juta ton/tahun pada tahun 2005.

Plastik merupakan bahan kemasan utama saat ini. Salah satu jenis plastik adalah *Polyethylene* (PE). Polietilen dapat dibagi menurut massa jenisnya menjadi dua jenis, yaitu: *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *High Density Polyethylene* (HDPE). LDPE mempunyai massa jenis antara 0,91-0,94 g/mL-

1, separuhnya berupa kristalin (50-60%) dan memiliki titik leleh 115°C. Sedangkan HDPE bermassa jenis lebih besar yaitu 0,95-0,97 g/mL-1, dan berbentuk kristalin (kristalinitasnya 90%) serta memiliki titik leleh di atas 127°C (beberapa macam sekitar 135°C) (Billmeyer, 1971).

Secara kimia, LDPE mirip dengan HDPE. Tetapi secara fisik LDPE lebih fleksibel dan kerapatannya lebih kecil dibandingkan HDPE. Perkembangan selanjutnya, telah diproduksi LDPE yang memiliki bentuk linier dan dinamakan *Low Linear Density Polyethylene* (LLDPE).

Kebanyakan LDPE dipakai sebagai pelapis komersial, plastik, lapisan pelindung sabun, dan beberapa botol yang fleksibel. Kelebihan LDPE sebagai material pembungkus adalah harganya yang murah, proses pembuatan yang mudah, sifatnya yang fleksibel, dan mudah didaur ulang. Selain itu, LDPE mempunyai daya proteksi yang baik terhadap uap air, namun kurang baik terhadap gas lainnya seperti oksigen. LDPE juga memiliki ketahanan kimia yang sangat tinggi, namun melarut dalam benzena dan *tetrachlorocarbon* (CCl₄) (Billmeyer, 1971).

Keunggulan lain jenis plastik berkerangka dasar polietilen dibandingkan dengan jenis plastik lainnya ialah jenis plastik ini mempunyai nilai konstanta dielektrik yang kecil, sehingga sifat kelistrikannya lebih baik (Billmeyer, 1971). Sifat tersebut semakin baik dengan tingginya jumlah hidrogen atau klorida dan fluorida yang terikat pada tulang punggung Polietilen (exceedmpe.com). LDPE diklasifikasikan sebagai materi semi permeabel karena permeabilitasnya terhadap bahan kimia yang volatil. LDPE diproduksi dari gas etilen pada tekanan dan suhu tinggi dalam reaktor yang berisi pelarut hidrokarbon dan katalis logam yaitu *Ziegler Catalysts*. Polimer yang dihasilkan berupa bubur yang kemudian difiltrasi dari pelarutnya.

LDPE disintesis secara komersial pada tahun 1940. Sintesis tersebut menghasilkan LDPE dengan rantai bercabang. Hasil ini dibuktikan dengan spektroskopi IR. Percabangan LDPE dapat mengandung 50 cabang pendek dan paling sedikit 1 cabang panjang setiap basisnya. Percabangan yang terbentuk menghasilkan bentuk ikatan silang. (Billmeyer, 1971)

Dalam mengolah limbah plastik menjadi BBM tidak diperlukan perlakuan pre sortir dan tidak pula diperlukan kondisi yang harus bersih dari kotoran seperti: pasir, abu, kaca, logam, tekstil, air, minyak bekas dll.

Setiap satuan berat plastik, dapat menghasilkan:

- a. 70% minyak
- b. 16% gas

- c. 6% carbon solid
- d. 8% air

Identifikasi Jenis plastik

Pada tingkat bandar, lapak, dan sebagainya, masih saja kesulitan dalam membedakan jenis plastik sebab secara fisik banyak sekali kemiripan fisik walaupun sebenarnya berupa jenis plastik yang berbeda. Untuk kemasan produk yang dapat didaur ulang terdapat tanda tiga anak panah melingkar dan didalamnya memiliki nomor tertentu dari angka 1 sampai 7 sesuai dengan jenis masing-masing plastik (Bachriansyah, S. 1997).

Untuk itu disini akan diidentifikasi atas produk yang ada berdasarkan jenis polimer pembentuknya, yaitu:

1. PET (Polyethylene Terephtalate), dengan tanda angka 1.
2. HDPE (High Density Polyethylene), dengan tanda angka 2.
3. LDPE (Low Density Polyethylene), dengan tanda angka 3.
4. PVC (Polyvinyl Chloride), dengan tanda angka 4.
5. PP (Polypropylene), dengan tanda angka 5.
6. PS (Polystyrene), dengan tanda angka 6.
7. Multilayer, dengan tanda angka 7.

Tabel 1. Jenis – jenis dan sifat plastik berdasarkan tipenya

Tipe Plastik	Media Air	Media Minyak
PET (<i>Polyethylene Terephtalate</i>)	Terapung	Terapung
HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	Terapung	Terapung
PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Tenggelam	Tenggelam
LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	Terapung	Terapung
PP (<i>Polypropylene</i>)	Tenggelam	Tenggelam
PS (<i>Polystyrene</i>)	Terapung	Terapung

Sumber : Bachriansyah, S. 1997

Tabel 2 Jenis – jenis plastik berdasarkan temperatur leleh

Tipe Plastik	T _{Leleh}
PET (<i>Polyethylene Terephtalate</i>)	70 ⁰ C – 80 ⁰ C
HDPE (<i>HighDensityPolyethylene</i>)	70 ⁰ C – 80 ⁰ C
PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	70 ⁰ C – 100 ⁰ C
LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	70 ⁰ C – 80 ⁰ C
PP (<i>Polypropylene</i>)	60 ⁰ C – 70 ⁰ C

PS (*Polystyrene*) 80⁰C – 95⁰C

Sumber : Bachriansyah, S. 1997

Plastik dibagi menjadi dua klasifikasi utama berdasarkan pertimbangan ekonomis dan kegunaannya yaitu plastik komoditi dan plastik teknik. Plastik komoditi dicirikan dengan volumenya yang tinggi dan harga yang murah, mereka sering digunakan dalam bentuk barang yang bersifat pakai buang (*disposable*) seperti lapisan pengemas. Plastik teknik lebih mahal harganya dan volumenya lebih rendah, tetapi memiliki sifat mekanik yang unggul dan daya tahan yang lebih baik. Plastik komoditi yang utama adalah polietilena, polipropilena, poli(vinil klorida), dan polistirena. Plastik teknik yang utama adalah poliamida, polikarbonat, poliester dan sebagainya. Hampir semua plastik yang disebutkan merupakan termoplastik (Bachriansyah, S. 1997).

2. Metode Penelitian

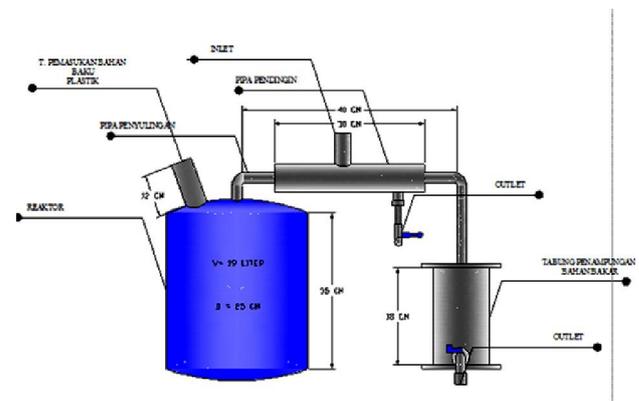
Sampah plastik yang telah dikelompokkan berdasarkan tipenya dibersihkan lalu dipotong-potong kemudian massanya ditimbang. Selanjutnya dimasukan dalam tabung atau instalasi pengolahan yang telah dirakit.

Adapun jenis sampah plastik yang digunakan adalah jenis plastik PET (Polyethylene Terephtalate), HDPE (High Density Polyethylene), dan PP (Polypropylene)

Parameter yang diamati:

Kekentalan bahan bakar cair dari beberapa jenis plastik dan sifat mampu bakar secara kontinyu (combustible). (dilakukan secara visual)

Peralatan yang digunakan yang digunakan adalah satu set instalasi pengolahan plastik yang dirakit manual (gambar 1) dan satu unit pengukur temperatur (infrared termocuple)



Gambar 1. Instalasi pengolahan limbah Plastik

3. Hasil dan Pembahasan

Percobaan I Kantong Kresek PP (*Polypropylene*),

Tabel 3 Waktu dan temperatur nyala api yang digunakan untuk membakar 500 gram kantong kresek PP (*Polypropylene*),

Jenis	Massa B. Baku (gr)	Waktu suling (detik)	Temp. Pelelehan ($^{\circ}\text{C}$)
PP	500	15 menit 30 detik	300 $^{\circ}\text{C}$

Pada tabel 3 untuk membakar kantong kresek PP (*Polypropylene*), 500 gram waktu yang dibutuhkan 930 detik dengan temperatur nyala api 300 $^{\circ}\text{C}$.

Sedangkan jumlah bahan bakar yang digunakan reactor untuk membakar bahan baku dan jumlah bahan bakar yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Jumlah bahan bakar yang digunakan dan jumlah bahan bakar yang dihasilkan.

Jenis plastik	Massa B. Baku (gram)	Bahan bakar yang digunakan (mili liter)	Hasil Bahan bakar (mili liter)
PP	500	424	484

Pada grafik 4 untuk membakar 500 gram kantong kresek PP (*Polypropylene*), bahan bakar dibutuhkan reactor sebesar 424 mili liter dan bahan bakar yang dihasilkan 484 mili liter.

Untuk mengetahui temperatur nyala api adalah dengan cara membakar bahan bakar yang dihasilkan dengan menggunakan alat infrared thermometer dan melihat temperatur nyala api.

Percobaan II Botol Oli HDPE

Waktu dan temperatur nyala api yang digunakan untuk membakar botol oli HDPE ditunjukkan pada tabel 5

Tabel 5 Waktu dan temperatur nyala api yang digunakan untuk membakar 500 gram botol oli HDPE (*High Density Polyethylene*)

Jenis Plastik	Massa Bahan Baku (gram)	Waktu Penyulingan (detik)	Temp. Nyala Api Pelelehan ($^{\circ}\text{C}$)
HDPE	500	25 menit 15 detik	415 $^{\circ}\text{C}$

Pada tabel 5, untuk membakar botol oli 500 gram waktu yang dibutuhkan 1515 detik dengan temperatur nyala api 415 $^{\circ}\text{C}$.

Tabel 6 Jumlah bahan bakar yang digunakan dan jumlah bahan bakar yang dihasilkan.

Bahan Baku	Massa Bahan Baku (gram)	Bahan bakar yang digunakan (mili liter)	Bahan bakar yang dihasilkan (mili liter)
HDPE	500	548	403

Pada grafik 4.5 untuk membakar 500 gram botol oli bahan bakar yang dibutuhkan 548 mili liter dan bahan bakar yang dihasilkan 447 mili liter.

Percobaan III Botol air minum kemasan (AquaTM), PET (*Polypropylene Terephthalate*).

Waktu dan temperatur nyala api yang digunakan untuk membakar botol aqua PET (*Polypropylene Terephthalate*) dan waktu yang dibutuhkan adalah 1221 detik dengan temperature nyala api 400 $^{\circ}\text{C}$ (Tabel 7).

Tabel 6 Waktu dan temperatur nyala api yang digunakan untuk membakar 500 gram plastik PET (*Polypropylene Terephthalate*).

Jenis Plastik	M. Bahan Baku (gr)	Waktu Penyulingan (detik)	T. Api Pelelehan ($^{\circ}\text{C}$)
PET	500	20 menit 21 detik	400 $^{\circ}\text{C}$

Tabel 7 Jumlah bahan bakar yang digunakan dan jumlah bahan bakar yang dihasilkan.

Jenis plastik	M Bahan Baku (gram)	Bahan bakar yang digunakan (mili liter)	Bahan bakar yang dihasilkan (mili liter)
PET	500	495	447

Pada grafik 4.8 untuk membakar 500 gram botol aqua (PET) bahan bakar yang dibutuhkan reaktor 495 mili liter dan bahan bakar yang dihasilkan 447 mili liter.

Untuk melihat kinerja hasil dari alat pengelolaan sampah plastik menjadi bahan bakar pada tiga tahap pengujian dapat dibuat uraian sebagai berikut: Waktu yang dibutuhkan untuk membakar bahan baku plastik dan besarnya temperatur nyala api yang

dibutuhkan reaktor untuk melelehkan bahan baku plastik dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Waktu yang dibutuhkan untuk membakar bahan baku plastik dan besarnya temperatur nyala api

No	Jenis bahan baku	Waktu penyulingan (detik)	Temperatur nyala api Pelelehan ($^{\circ}\text{C}$)
1	Kantong kresek (PP)	15 menit 30 detik	300 $^{\circ}\text{C}$
2	Botol oli (HDPE)	25 menit 15 detik	415 $^{\circ}\text{C}$
3	Botol aqua (PET)	20 menit 21 detik	400 $^{\circ}\text{C}$

Pada Tabel 8 proses pembakaran kantong kresek sebanyak 500 gram waktu yang dibutuhkan 930 detik dengan temperatur nyala api 300 $^{\circ}\text{C}$. Untuk botol oli 500 gram waktu yang dibutuhkan 1515 detik dengan temperatur nyala api 415 $^{\circ}\text{C}$ dan botol aqua 500 gram waktu yang dibutuhkan 1221 detik dengan temperatur nyala api 400 $^{\circ}\text{C}$.

Perbandingan jumlah bahan baku plastik yang digunakan dengan bahan bakar yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 9 berikut.

Tabel 9. Perbandingan jumlah bahan baku plastik yang digunakan dengan bahan bakar yang dihasilkan

Bahan baku plastik	Massa bahan baku (gram)	Jumlah bahan bakar yang digunakan (mili liter)	Bahan bakar yang dihasilkan (mili liter)
Kantong kresek (PP)	500	424	484
Botol oli (HDPE)	500	548	403
Botol aqua (PET)	500	495	447

Pada tabel 9, untuk kantong kresek 500 gram menghasilkan bahan bakar 484 mili liter. Untuk 500 gram botol oli menghasilkan 403 mili liter dan botol aqua 500 gram menghasilkan 447 mili liter. Sedangkan bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan

reaktor untuk plastik PP, HDPE, dan PET masing-masing adalah 242,548 dan 495 ml.

Pada tabel 9 untuk membakar kantong kresek 500 gram bahan bakar yang digunakan 424 mili liter dan menghasilkan bahan bakar 484 mili liter. Untuk botol oli 500 gram bahan bakar yang digunakan 548 mili liter dan menghasilkan bahan bakar 403 mili liter. Untuk botol aqua 500 gram bahan bakar yang digunakan 495 mili liter dan menghasilkan bahan bakar 447 mili liter.

Meskipun dalam penelitian ini menggunakan bahan bakar minyak tanah yang tentu saja memerlukan biaya tambahan, namun hal ini dapat diganti dengan sumber kalor buang lainnya atau pun dapat menggunakan sampah lain yang dapat melelehkan plastik dalam reaktor.

4. Kesimpulan

Adapun yang dapat kami simpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk membakar kantong kresek 500 gram menghasilkan bahan bakar 450 mili liter, botol oli 500 gram menghasilkan bahan bakar 400 mili liter, dan botol aqua 500 gram menghasilkan bahan bakar 420 mili liter.
- 2) Untuk membakar kantong kresek 500 gram waktu yang digunakan 930 detik dengan temperatur nyala api 300 $^{\circ}\text{C}$. Untuk membakar botol 500 gram waktu yang digunakan 1515 detik dengan temperatur nyala api 415 $^{\circ}\text{C}$ dan untuk membakar botol aqua 500 gram waktu yang digunakan 1221 detik dengan temperatur nyala api 400 $^{\circ}\text{C}$.
- 3) Untuk membakar kantong kresek 500 gram bahan bakar yang digunakan 400 mili liter dan menghasilkan 450 mili liter. Untuk botol oli 500 gram bahan bakar yang digunakan 600 mili liter dan menghasilkan 400 mili liter dan Untuk botol aqua bahan bakar yang digunakan 500 mili liter sedangkan bahan bakar yang dihasilkan 420 mili liter.

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa potensi sampah plastik untuk menjadi bahan bakar cair sangat baik. Penelitian selanjutnya mengenai minyak yang dihasilkan seperti mengurangi kekentalan minyak dengan destilasi bertingkat akan membuat minyak ini layak pakai bagi umum. Uji komposisi atau uji lain untuk mengetahui jenis dan sifat bahan bakar ini dapat menjadi upaya penelitian lebih lanjut mengenai pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif dalam skala rumah tangga, industri dan sektor lainnya.

Daftar Pustaka

- Aziza. *plastik*. www.wikipedia.org. diakses pada tanggal 23 April 2009.
- Bachriansyah, S. *Identifikasi Plastik. Makalah Pelatihan Teknologi Pengemasan Industri Makanan dan Minuman*, Departemen Perindustrian dan Perdagangan, Bogor 29 November 1997.
- Billmeyer. B. 1971. *Textbook Of Polymer Science*.
- Breeze, Paul et al. 2009. *Renewable Energy Focus Handbook*. Academic Press. Elsevier. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK
- Bierley, A.W., R.J. Heat and M.J. Scott. 1988. *Plastic Materials Properties and Applications*. Chapman and Hall Publishing: New York.
- Chem Edu 09. 29 April 2012. *Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. www.chemedu09.wordpress.com. Diakses pada tanggal 28 Agustus 2012
- Cleanup. *Plastic*. www.cleanup.com.au. Diakses pada tanggal 28 Agustus 2012.
- Kamaruzzaman Sopiana, and Wan Ramli Wan Daud "Challenges and future developments in proton exchange membrane fuel cells." *renewable energi*. 2005.
- Nurminah Mimi, 2002. *Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas Serta Pengaruhnya Terhadap Bahan yang Dikemas*. Fakultas Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian Universitas Sumatera Utara
- PT. ARTHA TEKNINDO SUKMATAMA – ARTECH.
Mengolah limbah plastik menjadi ENERGI. www.artech.co.id. Diakses pada tanggal 28 Agustus 2012.
- Irma Hardi Pratiwi, Sritomo Wignjosoebroto, dan Dyah Santhi Dewi. *Sistem Pengelolaan sampah plastik terintegrasi dengan Pendekatan Ergonomi Total Guna Meningkatkan Peran Serta Masyarakat (Studi kasus : Surabaya)*. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111.