

Pengolahan Limbah Otomotif Secara Termal (Review)

Ismail Rahim*¹

¹Pendidikan Vokasional Teknologi Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar
Jl. Raya Parangtambung, Mallengkeri, Makassar

*Email: ismail_rahim@unm.ac.id

Abstrak

Perkembangan industri otomotif yang pesat menjadikan permintaan dan pemakaian yang besar pada produk ban kendaraan. Dampak negatif yang dihasilkan adalah melimpahnya limbah ban bekas. Diperkirakan sekitar 1 juta limbah ban dihasilkan setiap tahunnya. Material ban yang tersusun dari material polimer adalah jenis material yang tidak mudah didekomposisi, dibutuhkan waktu lebih dari 100 tahun untuk proses degradasi di alam. Material ban tersusun dari 47% karet, 22% carbon black, 17% metal, dan sisanya adalah bahan-bahan aditif seperti ZnO, sulfur, clay dan komponen lainnya. Sekitar 74-76% dari material ban adalah material berbasis karbon. Komponen-komponen ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan lebih lanjut. Beberapa jenis proses termal telah diteliti untuk mengolah limbah ban menjadi syngas maupun karbon aktif. Review ini akan memaparkan beberapa proses termal yaitu proses gasifikasi, pirolisis dan proses plasma dan jenis material apa saja yang dapat dihasilkan dengan memanfaatkan limbah ban.

Abstract

A Review of Automototive Waste Thermal Processing. The rapid development of the automotive industry has made a large demand and use of vehicle tires. The resulting negative impact is the abundance of tire waste. It is estimated that about 1 million waste tires are generated annually. Tire material which is composed of polymer material is a type of material that is not easily decomposed, it takes more than 100 years for the degradation process in nature. The tire material is composed of 47% rubber, 22% carbon black, 17% metal, and the rest are additives such as ZnO, sulfur, clay and other components. About 74-76% of tire materials are carbon-based materials. These components have the potential to be further exploited. Several types of thermal processes have been investigated to process the tire waste into syngas and activated carbon. This review will describe several thermal processes, namely the gasification process, pyrolysis and plasma processes and what types of materials can be produced by utilizing waste tires.

Kata Kunci: Limbah ban, gasifikasi, pirolisis, plasma

1. Pendahuluan

Perkembangan dunia otomotif yang sangat pesat dewasa ini telah menjadikan permintaan dan pemakaian yang besar pada berbagai produk pendukung kendaraan. Salah satu jenis produk otomotif yang meningkat permintaannya adalah ban roda kendaraan baik roda dua maupun roda empat. Namun hal yang tidak bisa dihindari adalah dampak negatif yang dihasilkan dari melimpahnya limbah ban bekas yang sudah tidak terpakai. Menurut data diperkirakan sekitar 1 milyar limbah ban bekas dihasilkan setiap tahunnya di seluruh dunia.

Material ban kendaraan yang tersusun dari material polimer adalah jenis material yang tidak mudah didekomposisi dan terurai, dibutuhkan masa yang panjang (\pm 100 tahun) untuk proses degradasi pada lingkungan alam. Selain itu, lebih dari 50% limbah ban hanya dibuang tanpa melalui proses apapun, bahkan sebagian juga ada yang melakukan proses pembakaran sehingga menimbulkan polusi udara. Penumpukan dari

limbah ban bekas membutuhkan lahan yang luas, dan hal ini pun dapat menimbulkan masalah lain terhadap lingkungan.

Meskipun vulkanisir ban bekas sering dilakukan sebagai alternatif penggunaan Kembali dari limbah ban namun opsi ini tidak sebanding secara ekonomis dibandingkan dengan pembuatan ban baru serta penggunaan ban vulkanisir memiliki masalah dari segi keselamatan dan kinerja jika digunakan pada kecepatan tinggi. Beberapa pemanfaatan limbah ban bekas juga diaplikasikan pada pembuatan beton [1,2], aspal [3,4] atau material paving [5,6].

Komponen utama dari ban adalah *rubber* dimana *rubber* ini memiliki komposisi yang kompleks karena beberapa jenis materialnya disesuaikan dengan kebutuhan penggunaannya. Komponen yang umum adalah *natural rubber* (NR), *styrene-butadiene rubber* (SBR) dan *butadiene rubber* (BR). Komponen lainnya yang komposisinya disesuaikan berdasarkan kebutuhannya yaitu *carbon black*, minyak

dispersan, sulfur, akselerator, *zinc oxide* serta silika. Pada umumnya ban pada kendaraan mobil atau truk memiliki komposisi sebagai berikut : *natural rubber* 14-30%, *synthetic rubber* 14-27%, *carbon black* 20-28%, baja 13-25%, filler, akselerator, antiozonant dan material tambahan lainnya 10-17% [7].

Hasil analisa proksimasi dan ultimasi dari limbah ban yang dilaporkan dalam beberapa literatur ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Analisis proksimasi dan ultimasi limbah ban

Analisis Proksimasi (%wt)				Analisis Ultimasi (%wt)					Ref
Moisture	Volatile Matter	Fixed Carbon	Ash	C	H	O	N	S	
1.1	62.2	32.2	4.3	84.4	6.7	6.9	0.4	1.6	[2]
0.2	71.5	28.5	8.3	82.6	7.4	8.2	0.4	1.5	[3]
0.8	68.7	27.2	3.3	85.6	7.9	4.7	0.5	1.3	[4]
1.4	66.1	27.5	5	83.2	7.7	6.2	1.5	1.4	[5]
0.4	59.9	21	18.4	86.3	7.1	4.5	0.5	1.7	[6]

Kandungan energi tinggi yang terdapat pada limbah ban juga dimanfaatkan dari segi energi seperti pembakaran langsung pada kiln industri semen dan kertas [8,9]. Namun, pembakaran ini dapat menghasilkan emisi gas yang berbahaya bagi lingkungan [10].

Menyikapi hal ini, proses termokimia dianggap berperan penting dalam pengolahan limbah ban karena dapat mengurangi efek terhadap lingkungan.

Berbagai penelitian dilakukan untuk memanfaatkan limbah otomotif ini menjadi suatu jenis material melalui berbagai proses mekanik, kimia dan termal. Dalam review ini akan dibahas mengenai jenis-jenis proses termal dan material apa saja yang dapat dihasilkan dengan memanfaatkan limbah otomotif berupa ban bekas.

2. Proses Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses dimana udara, oksigen dan atau uap bereaksi dengan suatu material dalam proses endotermik untuk menghasilkan gas produk yang umumnya terdiri dari syngas (CO dan H₂) serta by-produk lainnya berupa CO₂, hidrokarbon dan arang.

Ada dua proses utama dalam proses gasifikasi dari limbah ban yaitu reaksi dekomposisi primer dan reaksi dekomposisi sekunder. Dalam reaksi dekomposisi primer termasuk didalamnya adalah dekomposisi limbah ban menjadi hidrokarbon ringan dan berat

serta arang. Proses dekomposisi sekunder melibatkan pemecahan hidrokarbon berat, reformasi hidrokarbon ringan dan berat kemudian dilanjutkan dengan gasifikasi material arang untuk meningkatkan produksi gas. [11]

Berbagai jenis proses gasifikasi limbah ban dilakukan dengan menggunakan bermacam-macam model reaktor dan *gasifying agent* baik dalam skala laboratorium maupun dalam skala pilot-project. Gas hidrogen dengan tingkat kemurnian tinggi dapat dihasilkan dari limbah ban yang diproses melalui gasifikasi dalam reaktor *fixed bed* dengan menggunakan *gasifying agent* berupa udara yang dikombinasikan dengan katalis Ni-Mg-Al. [12]

Proses lainnya yang dilakukan dalam reaktor *rotary kiln* skala laboratorium, proses gasifikasi dilakukan pada limbah ban dengan menggunakan uap sebagai *gasifying agent* dan katalis natural berupa nikel dan dolomite. Katalis nikel dapat menghasilkan kandungan hydrogen tertinggi sebesar 78% sedangkan katalis dolomite menghasilkan hydrogen sebesar 64%. [13]

Pada reaktor *rotary kiln*, investigasi terhadap pengaruh temperature terhadap produksi dan komposisi gas yang dihasilkan telah dilakukan untuk gasifikasi limbah ban dengan menggunakan uap sebagai *gasifying agent* tanpa menggunakan katalis. Hasilnya menunjukkan bahwa pada temperature tinggi dapat menghasilkan produksi syngas mencapai 86 wt% dan produksi arang yang rendah akibat peningkatan reaksi fase padat-gas dengan temperature. Temperatur operasi yang tinggi juga dapat menghasilkan konsentrasi hydrogen di atas 65%. [14]

Studi secara numerik untuk proses gasifikasi limbah ban dengan menggunakan *fixed bed down draft gasifier* dilakukan dengan CFD model untuk mengetahui gejala konversi ban dan efek dari produksi syngas dengan variasi waktu tunggu dalam *gasifier*. Perubahan kecepatan udara masuk secara langsung memengaruhi waktu tunggu dalam reaktan dan produk dalam *gasifier*. [15]

Pemanfaatan plasma untuk gasifikasi dengan menggunakan limbah ban juga telah dilakukan dengan menggunakan plasma gasifier skala laboratorium. Plasma menghasilkan temperature proses yang sangat tinggi sehingga produksi gas

hydrogen meningkat dari 58% hingga 99%. Hasil ini merupakan nilai tertinggi yang pernah dilaporkan terkait dengan proses gasifikasi pada limbah ban. [16]

3. Proses Pirolisis

Pirolisis secara umum adalah proses pemanasan tanpa adanya atau sangat sedikit oksigen sehingga terjadi penguraian dari bahan-bahan organik di dalam suatu material. Produk hasil pirolisis dapat berupa gas, bio-oil, liquid maupun solid.

Proses pirolisis pada limbah ban melibatkan sejumlah proses kimia yang kompleks, diantaranya yaitu proses degradasi polimer sebagai proses utama, kemudian proses sekunder pada bagian dalam dari partikel ban dan dalam fase gas. Perilaku dari proses pirolisis pada limbah ban memiliki perbedaan dari proses pirolisis pada material polimer lainnya, terutama disebabkan oleh sifat fisiknya seperti komposisi dan analisis proksimasi. Limbah ban dikarakterisasi berdasarkan kandungan karbon tetap yang tinggi yang berasal dari jumlah *carbon black* yang ditambahkan dalam proses vulkanisasi ban. Hal ini menyebabkan limbah ban dapat menghasilkan arang dalam jumlah yang besar dalam proses pirolisis. Literatur melaporkan karakteristik arang ataupun karbon aktif yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh proses yang terjadi baik itu temperatur, laju pemanasan maupun desain reaktor serta pengaruh dari waktu tunggu dalam reaktor.

Teknologi pirolisis sendiri dapat dikategorikan menjadi pirolisis cepat dan pirolisis lambat. Pirolisis cepat dikategorikan berdasarkan laju pemanasannya yang tinggi yaitu 10^3 °C/detik serta waktu tunggu dalam reaktor di atas 3 detik. [17]. Kondisi ini dapat meminimalisir reaksi sampingan sehingga dapat menghasilkan minyak pirolisis yang tinggi [18,19]. Teknologi pirolisis cepat yang umum digunakan adalah proses *bubbling* [20,21], *circulating fluidized bed* [22], *spouted bed* [23,24], dan *rotating cone* serta *ablative reactor* [25,26].

Potensi produk yang dihasilkan dari pirolisis limbah ban adalah berupa gas, minyak pirolisis dan juga char, dimana produk yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi pirolisis yang

digunakan. Produk utama yang dihasilkan adalah berupa minyak pirolisis yang memiliki komposisi yang kompleks termasuk hidrokarbon dari berbagai jenis seperti aromatic, paraffin, olefin dan naphthene yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Selain itu gas hasil pirolisis limbah ban juga dapat digunakan sebagai bahan bakar, meskipun memerlukan penambahan katalis. Produk sampingan lainnya adalah arang (char) yaitu produk padatan yang dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif atau diolah kembali menjadi karbon hitam.

4. Proses Plasma

Plasma dikenal sebagai wujud zat keempat yang terbentuk dari ionisasi dari material gas [27]. Aplikasi plasma dalam reaksi gasifikasi memiliki mekanisme reaksi yang sama dengan gasifikasi konvensional [28], namun sebagai tambahannya adalah, proses plasma dapat memproduksi aliran gas dengan kandungan hydrogen yang lebih tinggi dari berbagai jenis hidrokarbon dengan efisiensi konversi mendekati 100%. Hal ini disebabkan oleh karakteristik plasma yang dapat memacu terjadinya reaksi kimia sekalipun tanpa menggunakan katalis. Spesies-spesies aktif yang terdapat dalam plasma seperti ion, radikal electron memiliki temperature hingga ribuan derajat lebih tinggi dari temperature sekitarnya, hal inilah yang memacu laju reaksi kimia yang umumnya disebabkan karena penggunaan katalis [29].

Plasma dapat membangkitkan “temperature” yang sangat tinggi atau sangat rendah berdasarkan cara pembangkitan dan daya kerjanya. Range temperature yang sangat luas ini memungkinkan plasma untuk dapat diaplikasikan pada berbagai aspek misalnya pengolahan limbah, proses coating, gas treatment dan sintesis kimiawi.

Ada dua jenis plasma yang umum digunakan dalam proses industri yaitu *thermal* atau *equilibrium* plasma serta *non-equilibrium* plasma, dimana karakterisasi ini didasarkan pada *high energy density* serta temperature dari partikel-partikelnya (atom, molekul dan ion). Jenis dari thermal plasma yang telah diaplikasikan untuk pengolahan limbah antara lain adalah Direct Current (DC) plasma, alternating current (AC), microwave dan radio frequency (RF) plasma [30-32].

Reaktor dari plasma termal memiliki beberapa kelebihan untuk aplikasi pada pengolahan limbah diantaranya, temperature dan energi densitas yang tinggi memungkinkan terjadinya reaksi dalam waktu yang cepat. Plasma dapat digunakan pada berbagai jenis limbah baik padat, cair maupun gas. Plasma juga tidak memerlukan oksidan untuk memproduksi sumber panas, karena tidak ada penggunaan bahan bakar, volume laju aliran gas yang dihasilkan lebih kecil dari proses pembakaran konvensional sehingga mudah dan ekonomis untuk diatur.

Aplikasi plasma dalam pengolahan limbah pembuatan baja dapat menghasilkan metal dan material oksida dengan menggunakan tungku DC plasma. Chromium dan Nickel dapat dihasilkan Kembali dari limbah ini hingga mencapai 90%[33]. Sedangkan metode RF plasma dapat menghasilkan serbuk halus yang berpotensi menjadi serbuk keramik seperti spinel ferrites[34,35].

Proses electroplating yang diterapkan pada berbagai komponen industry untuk mencegah keausan dan korosi banyak menghasilkan limbah cair yang mengandung zinc, chromium dan nickel. Pemanfaatan plasma DC non-transferred arc dapat mengekstraksi chromium, zinc dan nickel dalam bentuk ferrite/chromite[36-37].

Microwave plasma yang menggunakan jenis plasma torch diklaim efektif untuk perlakuan pada jenis material biomassa karena temperaturnya meningkat akibat sejumlah besar oksidasi dari radikal-radikal dan juga akibat oksidasi parsial [38]. Selain itu, atom oksigen yang terdisipasi dari uap plasma sangat reaktif dalam proses reforming dan gasifikasi bahan bakar hidrokarbon. Penambahan uap tidak hanya memacu produksi CO, H₂, CO₂ dan CH₄, tetapi juga menambah laju perlakuan dalam hal ini untuk mengonversi suatu material[39].

Selain itu juga dilaporkan bahwa microwave plasma sangat efektif untuk mengonversi limbah plastik atau polyethylene menjadi syngas.

Aplikasi plasma pada limbah medis menunjukkan penurunan kadar kandungan zat berbahaya TSS hingga 99%, penurunan kadar silver (Ag) hingga 72%, serta BOD dan COD mengalami penurunan diatas 50%. Selain itu produksi nanopartikel silver juga dilaporkan

dapat dihasilkan dari pengolahan limbah medis ini. [40]

Dalam berbagai literatur mengenai teknologi plasma termal yang diaplikasikan pada berbagai jenis limbah terlihat bahwa pengembangan terus berlangsung. Analisis yang ditunjukkan dalam berbagai penelitian yang telah dipublikasikan mengindikasikan bahwa plasma termal adalah alternatif yang menjanjikan disbanding metode termal konvensional lainnya dalam pengolahan limbah.

Pengolahan limbah otomotif dengan menggunakan metode plasma belum ditemukan dalam studi literatur sehingga hal ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

Referensi

- [1] Mendis ASM, Al-Deen S, Ashraf M. Effect of rubber particles on the flexural behaviour of reinforced crumbed rubber concrete beams. *Construct Build Mater* 2017;154:644–57.
- [2] Yadav JS, Tiwari SK. The impact of end-of-life tires on the mechanical properties of fine-grained soil: a Review. *Environ Dev Sustain* 2017;1–84.
- [3] Pasandin AR, Perez I. Fatigue performance of bituminous mixtures made with recycled concrete aggregates and waste tire rubber. *Construct Build Mater* 2017; 157:26–33.
- [4] Saberi KF, Fakhri M, Azami A. Evaluation of warm mix asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement and crumb rubber. *J Clean Prod* 2017; 165:1125–32.
- [5] Watterson A. Artificial turf: Contested terrains for precautionary public health with particular reference to Europe? *In t J Environ Res Publ Health* 2017;14.
- [6] Llompарт M, Sanchez-Prado L, Pablo Lamas J, Garcia-Jares C, Roca E, Dagnac T.
- [7] Pehlken A, Müller DH. Using information of the separation process of recycling scrap tires for process modelling. *Resour Conserv Recycl* 2009;54:140–8.
- [8] Martinez JD, Puy N, Murillo R, Garcia T, Navarro MV, Mastral AM. Waste tyre pyrolysis: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;23:179-213.
- [9] Chatziaras N, Psomopoulos CS, Themelis NJ. Use of waste derived fuels in cement industry: a review. *Manage Environ Qual* 2016;27:178-93.
- [10] Richards G, Agranovski IE. Dioxin-like pcb emissions from cement kilns during the use of alternative fuels. *J Hazard Mater* 2017;323:698-709.
- [11] Raman KP, Walawender WP, Fan LT. Gasification of waste tires in a fluid bed reactor. *Conservation and Recycling* 1981; 4(2):79-88

- [12] Elbaba IF, Williams PT. Two stage pyrolysis-catalytic gasification of waste tyres: Influence of process parameters. *Appl Catal B Environ* 2012;125:136-143.
- [13] Portofino S, Casu S, Iovane P, Russo A, Martino M, Donatelli A, et al. Optimizing H₂ production from waste tires via combined steam gasification and catalytic reforming. *Energy Fuels* 2011; 25(5):2232-2241
- [14] Portofino S, Donatelli A, Iovane P, Innella C, Civita R, Martino M, et al. Steam gasification of waste tyre: Influence of process temperature on yield and product composition. *Waste Manage* 2013; 33(3):672-678
- [15] Lerner AS, Bratsev AN, Popov VE, Kuznetsov VA, Ufimtsev AA, Shengel' SV, et al. Production of hydrogen-containing gas using the process of steam-plasma gasification of used tires. *Glass Phys Chem* 2012; 38(6):511-516.
- [16] Luo S, Feng Y. The production of fuel oil and combustible gas by catalytic pyrolysis of waste tire using waste heat of blast-furnace slag. *Energy Convers Manag* 2017;136:27-35
- [17] Bridgwater AV Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass Bioenergy* 2012;38:68-94.
- [18] Martinez JD, Puy N, Murillo R, Garcia T, Navarro MV, Mastral AM. Waste tyre pyrolysis: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;23:179-21
- [19] Kan T, Strezov V, Evans TJ. Lignocellulosic biomass pyrolysis: a review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renew Sustain Energy Rev* 2016; 57:1126-40.
- [20] Kaminsky W, Mennerich C, Zhang Z. Feedstock recycling of synthetic and natural rubber by pyrolysis in a fluidized bed. *J Anal Appl Pyrolysis* 2009;85:334-7
- [21] Choi G, Oh S, Kim J Non-catalytic pyrolysis of scrap tires using a newly developed two-stage pyrolyzer for the production of a pyrolysis oil with a low sulfur content. *Appl Energy* 2016;170:140-7.
- [22] Dai X, Yin X, Wu C, Zhang W, Chen Y. Pyrolysis of waste tires in a circulating fluidized-bed reactor. *Energy* 2001;26:385-99
- [23] Lopez G, Olazar M, Aguado R, Bilbao J. Continuous pyrolysis of waste tyres in a conical spouted bed reactor. *Fuel* 2010;89:1946-52.
- [24] Arabiourrutia M, Lopez G, Elordi G, Olazar M, Aguado R, Bilbao J. Product distribution obtained in the pyrolysis of tyres in a conical spouted bed reactor. *Chem Eng Sci* 2007;62:5271-5.
- [25] Helleur R, Popovic N, Ikura M, Stanculescu M, Liu D. Characterization and potential applications of pyrolytic char from ablative pyrolysis of used tires. *J Anal Appl Pyrolysis* 2001;58:813-24.
- [26] Stanculescu M, Ikura M. Limonene ethers from tire pyrolysis oil: Part 1: batch experiments. *J Anal Appl Pyrolysis* 2006;75:217
- [27] Fridman, A., 2008. Plasma chemistry.
- [28] Kalamaras, C.M., Efstathiou, A.M., 2013. Hydrogen production technologies: current state and future developments. *Conf. Papers Energy*, 1-9.
- [29] Henriques, J., Bundaleska, N., Tatarova, E., Dias, F.M., Ferreira, C.M., 2011. Microwave plasma torches driven by surface wave applied for hydrogen production. *Int. J. Hydrogen Energy* 36, 345-354.
- [30] M.I. Boulos, Thermal plasma processing, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 19 (1991) 1078-1089.
- [31] M.I. Boulos, New frontiers in thermal plasma processing, *Pure Appl. Chem.* 68 (1996) 1007-1010.
- [32] U.Kogelschatz, Atmospheric-pressure plasma technology, *Plasma Phys. Controlled Fusion* 46 (2004) B63-B75.
- [33] G.Z. Ye, E. Burstrom, M. Kuhn, J. Piret, Reduction of steel-making slags for recovery of valuable metals and oxide materials, *Scand. J. Metall.* 32 (2003) 7-14.
- [34] J. Szepvolgyi, I. Mohai, J. Gubicza, I. Saray, RF Thermal Plasma Synthesis of Ferrite Nanopowders From Metallurgical Wastes, in *Euro Ceramics VIII*, Pts 1-3, Trans Tech Publications Ltd., Zurich-Uetikon, 2004, pp. 2359-2362.
- [35] N. Kikukawa, M. Sugawara, S. Kobayashi, Preparation of spinel-type ferrite fine particles via plasma route using amorphous citrate gel as a precursor, *Jpn. J. Appl. Phys.* 41 (2002) 5991-5992.
- [36] K. Ramachandran, N. Kikukawa, Thermal plasma in-flight treatment of electroplating sludge, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 30 (2002) 310-317.
- [37] K. Ramachandran, N. Kikukawa, Plasma in-flight treatment of electroplating sludge, *Vacuum* 59 (2000) 244-251.
- [38] Shin, D.H., Hong, Y.C., Lee, S.J., Kim, Y.J., Cho, C.H., Ma, S.H., Chun, S.M., Lee, B.J., Uhm, H.S., 2013. A pure steam microwave plasma torch: gasification of powdered coal in the plasma. *Surf. Coat. Technol.* 228, S520-S523.
- [39] Sekiguchi, H., Mori, Y., 2003. Steam plasma reforming using microwave discharge. *Thin Solid Films* 435, 44-48.
- [40] AEE. Putra, E. Sulfiana, N. Amaliyah, A. Hayat, H. Arsyad, 2019 Hazardous content removal and silver nanoparticle recovery using microwave plasma. *Revue des Composites et des Materiaux Avances*. Vol 29 No.6; 369-373