

PENINGKATAN HASIL HIDROGEN PADA PROSES GASIFIKASI TANDAN SAWIT

- 1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Unisma Malang,
- 2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Unisma Malang
- 3) Staf Pelatih, balai Latihan Kerja (BLK) Pelaihari

Corresponding email ¹⁾ :
ayansabitah97@gmail.com

Received: 03-05-2020

Accepted: 20-05-2020

Published: 28-06-2020

©2020 Politala Press.

All Rights Reserved.

A'yan Sabitah ¹⁾, Moh. Sulhan ²⁾, Raliannoor ³⁾

Abstrak. Katalis bentonit merupakan katalis yang mampu menyerap kadar air dan memiliki sifat penghantar panas yang baik, pada proses gasifikasi katalis bentonit sangat berperan aktif dalam penyebaran panas ke biomassa. Penelitian ini dilakukan menggunakan tandan kosong kelapa sawit dengan tambahan katalis bentonit 10% dari berat total biomassa, selain itu penelitian ini juga mengamati pengaruh temperatur proses gasifikasi, dimana temperatur yang digunakan adalah 500 °C, 600 °C dan 700 °C. Dari hasil penelitian diperoleh volume gas mengalami peningkatan seiring dengan tingginya temperatur proses gasifikasi dan kadar hidrogen H₂ dalam syngas mengalami peningkatan namun kadar CH₄ mengalami penurunan. Selain produk gas disini juga mengamati hasil akhir berupa char dan tar, dimana hasil tar mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya temperatur sedangkan untuk char tidak terlalu mengalami perubahan signifikan pada proses gasifikasi.

Kata Kunci: Gasifikasi, Tandan sawit, Bentonit, Syngas

Abstract. Bentonite is a catalyst that can absorb water content and has good heat-conductive properties to the gasification process, the catalyst bentonite plays an active role in spreading heat to biomass. This research was conducted using oil palm empty fruit bunches with an additional 10% bentonite catalyst from a total weight of biomass, the addition this study also observed the effect of process gasification temperature, where the temperature gasification used was 500 oC, 600 oC, and 700 oC. From the results of the study obtained volume gas increased along with the high temperature of the gasification process and the levels of hydrogen H₂ from syngas have increased, but the CH₄ level decreased. In addition to gas products here also observe results in the form of char and tar, where tar results decrease with increasing temperature while char does not experience significant changes in the gasification process.

Keywords: Gasification, Palm Bunches, Bentonite, syngas

To cite this article at <https://doi.org/10.34128/je.v7i1.116>

1. Pendahuluan

Hidrogen sebagai unsur bahan bakar energi terbarukan yang memiliki kualitas emisi gas buang yang bersih baru-baru ini sangat buming dan menarik diteliti dan dikembangkan para peneliti [1]. Untuk mencapai produksi hidrogen rendah karbon, konversi termokimia biomassa atau bahan bakar turunan biomassa dianggap sebagai pilihan ideal [2]. Namun, biomassa tersebar luas dan dengan kepadatan energi volumetrik yang rendah dan grindabilitas yang buruk, biaya logistik yang tinggi akan menjadi kendala utama yang menghambat pemanfaatan biomassa untuk produksi hidrogen [3]. Melalui gasifikasi, biomassa terurai menjadi gas, bio-char dan bio-oil [4].

Sintesis gas dari proses gasifikasi biomassa mengandung hidrogen (H₂), karbon monoksida (CO), metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), nitrogen (N₂), air (H₂O), dan melacak sejumlah hidrokarbon lainnya. Proporsi komponen syngas tergantung pada kondisi operasi gasifikasi, yaitu temperatur, tekanan, jenis biomassa, dll, [5]. Penambahan katalis mendukung retak tar, reaksi pembentukan uap (SRR) dan reaksi pergeseran gas air (WGSR)

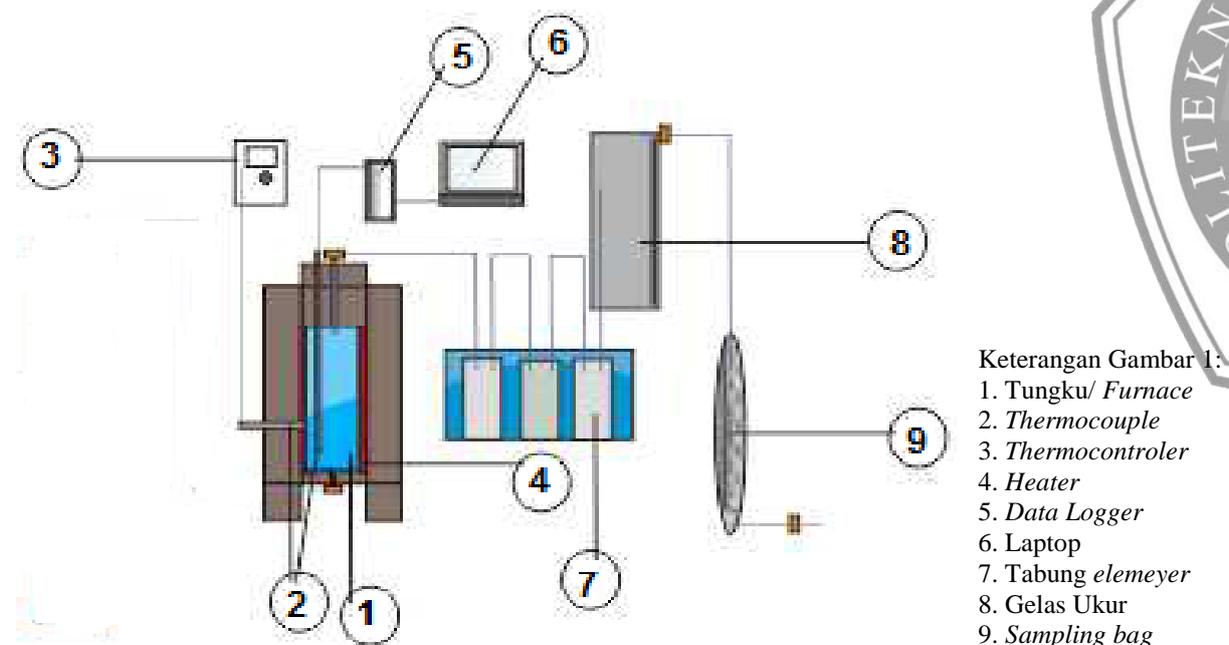
dan menurunkan suhu reaksi yang mengarah ke hasil hidrogen yang lebih tinggi [6][7]. Katalis konvensional adalah logam mulia dan katalis berbasis logam transisi, yang memiliki aktivitas katalitik yang sangat baik, tetapi mereka memiliki masalah dengan biaya tinggi, sintering atau / dan deposisi karbon. Oleh karena itu, upaya harus dilakukan untuk mengembangkan katalis yang murah, sederhana dan efektif.

Bentonit adalah *clay* yang sebagian besar terdiri dari montmorillonit dengan mineral-mineral seperti kwarsa, kalsit, dolomit, feldspars, dan mineral lainnya. Bentonit dalam keadaan kering mempunyai sifat fisik berupa partikel butiran yang halus berbentuk rekahan-rekahan atau serpihan yang khas seperti tekstur pecah kaca (*concoidal fracture*), kilap lilin, lunak, plastis, berwarna kuning muda hingga abu-abu, bila lapuk berwarna coklat kekuningan, kuning merah atau coklat, bila diraba terasa licin, dan bila dimasukkan ke dalam air akan menghisap air. Bentonit sebagai katalis pada proses gasifikasi mampu meningkatkan dan membantu mempercepat terpecahnya rantai ikatan kimia panjang pada biomassa dalam proses gasifikasi [8,9].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan produksi hidrogen dengan memvariasikan temperatur dengan penambahan katalis bentonit sebagai pembantu mempercepat proses terpecahnya rantai ikatan kimia panjang pada biomassa, khususnya tandan kelapa sawit.

2. Metodologi

Bahan penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang diperoleh di perkebunan kelapa sawit yang merupakan limbah hasil ekstraksi minyak kelapa sawit. TKKS kemudian dijemur dan dihaluskan, sedangkan katalis yang digunakan dalam eksperimen ini adalah bentonit. Pemilihan katalis bentonit dikarenakan kandungan alumina (Al_2O_3) yang berfungsi sebagai perambat panas yang baik sehingga proses penyerapan energi panas berlangsung secara optimal dan mampu mempercepat proses dekomposisi pada biomassa. Instalasi alat gasifikasi bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Instalasi Alat

Variabel bebas penelitian ini adalah memvariasikan temperatur gasifikasi. Sedangkan variabel terikat yang diamati dalam penelitian gasifikasi ini adalah produksi gas selama proses gasifikasi, kandungan gas serta persentase hasil berupa komposisi gas, tar dan char yang dihasilkan setelah proses gasifikasi. Variabel terkontrolnya adalah tandan kosong kelapa sawit 200 gram ditambah katalis 10% dari berat biomassa dengan waktu gasifikasi 2 jam.

3. Hasil dan Pembahasan

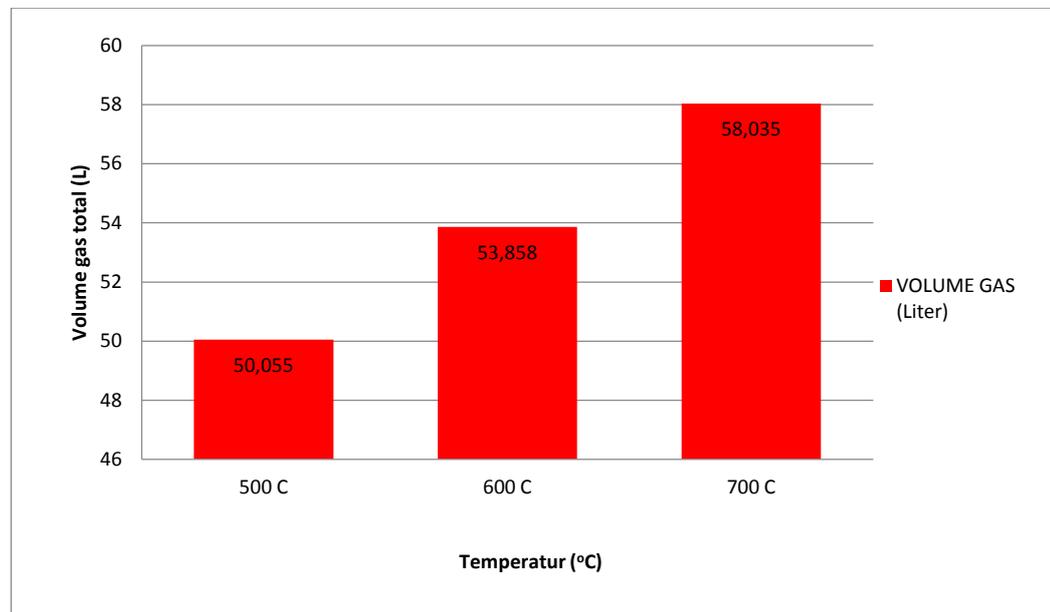
Berdasarkan hasil penelitian tandan kelapa sawit ditambah katalis bentonit dengan berat 10% dari bahan bakar, dimana dalam penelitian ini peneliti memvariasikan temperatur proses gasifikasi yaitu 500 °C, 600 °C dan 700 °C maka diperoleh data sebagai berikut:

a. Produksi gas

Pada Gambar 2 menunjukkan hasil volume total syngas tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan katalis bentonit 10% dari berat tandan kelapa sawit sebagai bahan bakar utama proses gasifikasi, hasil syngas mengalami peningkatan seiring penambahan temperatur. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahul dengan

penambahan katalis bentonit mampu mengoptimalkan produksi dan komposisi gas dan semakin tingginya temperatur gasifikasi syngas yang diperoleh juga mengalami peningkatan yang signifikan [8, 9].

Menurut Guanyi Chen et al., 2017 suhu reaksi memiliki dampak yang signifikan pada produksi gas dan peningkatan suhu meningkatkan proses dengan mendukung reaksi endotermik. Konsentrasi H_2 menunjukkan peningkatan dengan meningkatnya suhu, sementara konsentrasi CO_2 dan CH_4 menyajikan tren yang berlawanan, hal ini bisa dilihat pada Gambar 3, Fenomena serupa telah dilaporkan dalam penelitian lain (Emami Taba et al., 2012; Lahijani dan Zainal, 2011; Qin et al., 2012).



Gambar 2 Volume total syngas tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan katalis bentonit 10%

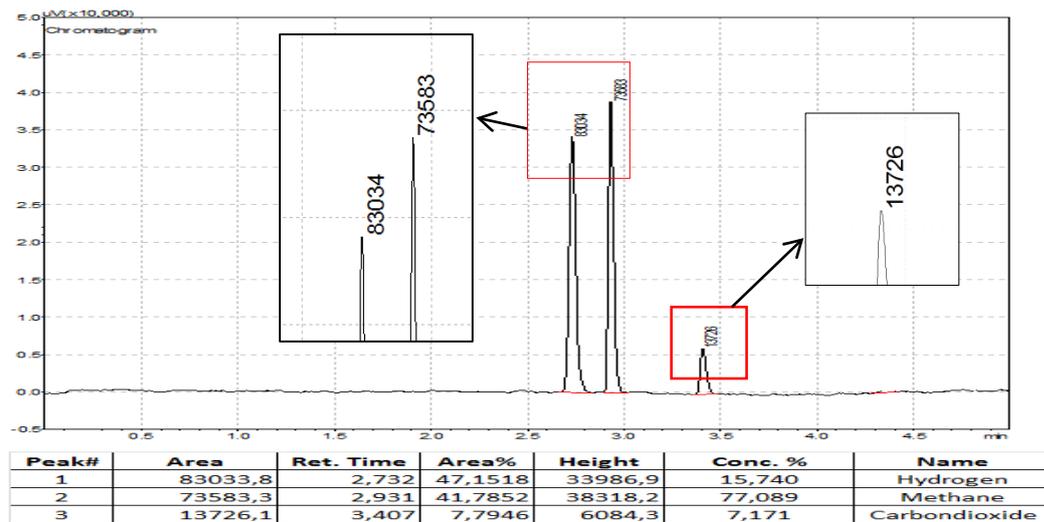
Selain itu, penurunan C_nH_m dapat berasal dari perengkahan termal zat berat dengan suhu yang lebih tinggi dan waktu proses lebih lama (Skoulou et al., 2008). Selain itu, peningkatan suhu menguntungkan untuk dekomposisi tar dengan keluaran gas yang lebih mudah terbakar (Emami Taba et al., 2012). Juga, dengan peningkatan suhu, hasil gas juga meningkat karena pelepasan produk gas yang tinggi dan reaksi perengkahan (Seo et al., 2010). Untuk mencapai komposisi gas yang optimal, penggunaan suhu 700 °C diusulkan dalam penelitian ini.

Equivalence ratio dalam proses gasifikasi sangat berpengaruh terhadap hasil gas yang dihasilkan, sebagai catatan *equivalence ratio* dalam proses gasifikasi menggunakan udara terbatas. Dalam penelitian ini hanya menggunakan udara yang ada dalam ruang bakar pada gasifer. Hasil volume gas pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Dimana pada temperatur 500 °C syngas yang dihasilkan memiliki nilai yang terendah sebesar 50,055 liter dan seiring bertambah besarnya temperatur proses gasifikasi volume syngas mengalami peningkatan dimana nilai tertinggi ada pada temperatur 700 °C dengan nilai 58,035 liter. Peningkatan produksi syngas dari temperatur 500 °C ke temperatur 700 °C cukup banyak yaitu sebesar 7,89 liter. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu, bahwa semakin besar temperatur proses gasifikasi maka syngas yang dihasilkan meningkat [8][11][13].

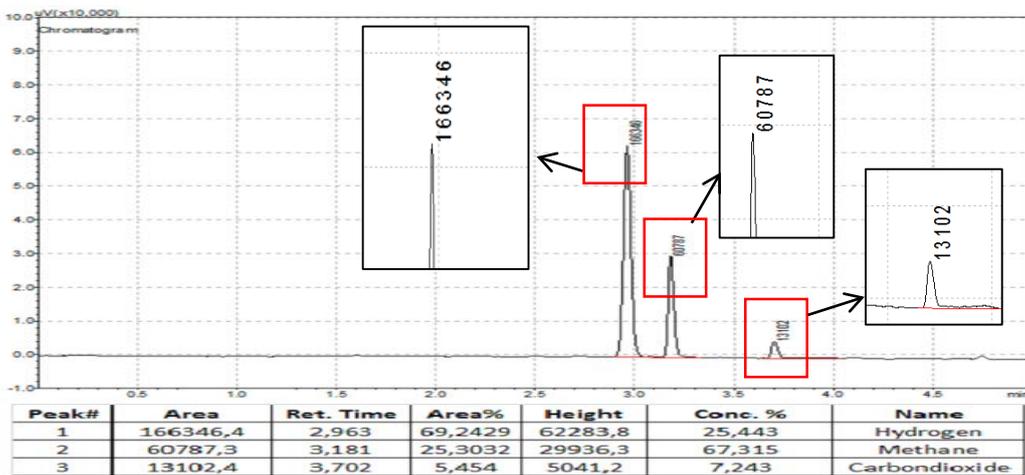
b. Uji Gas Chromatography (GC)

Tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu jenis biomassa melimpah dan mudah didapatkan di wilayah Kalimantan yang memiliki perkebunan kelapa sawit yang cukup luas. Biomassa memiliki rantai ikatan kimia yang panjang terutama unsur selulosa, hemiselulosa dan lignin. Menurut Yang et al. (2006), lignin menghasilkan empat kali lebih banyak H_2 daripada selulosa dan tiga kali lebih banyak daripada hemiselulosa (mis. Peningkatan lignin mendukung produksi H_2), dan selulosa menghasilkan hasil CO yang lebih tinggi (mis. Penurunan selulosa menghambat produksi CO).

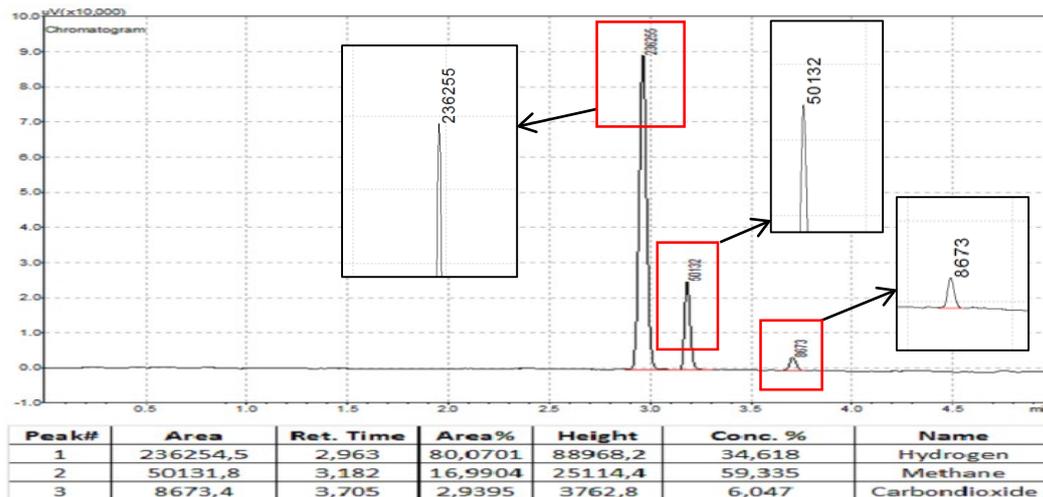
Hasil uji gas chromatography dari proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan katalis bentonit 10% dari berat biomassa dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil menunjukkan bahwa semakin besar temperatur proses gasifikasi mempengaruhi persentase unsur H_2 , CH_4 dan CO_2 . Semakin besar temperatur hidrogen H_2 mengalami peningkatan sedangkan untuk CH_4 mengalami penurunan, namun unsur CH_4 masih mendominasi pada total keseluruhan syngas yang dihasilkan.



(a)



(b)



(c)

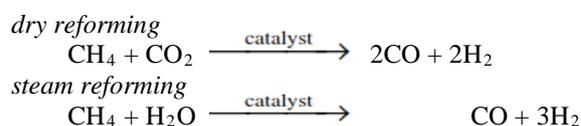
Gambar 3 Hasil Uji Gas Chromatography (a.) T-500 °C, (b.) T-600 °C dan (c.) T-700 °C

Menurut Mohamed et al., (2010) kandungan hemiselulosa dan selulosa mulai terdekomposisi pada temperatur 200°C - 400°C sedangkan untuk lignin mulai terdekomposisi pada temperatur 160°C - 170°C dan

terus berlangsung lama. Sehingga pada temperature 500 °C, 600 °C dan 700°C kandungan hemiselulosa, selulosa dan lignin sudah terdekomposisi sempurna dan menghasilkan syngas yang maksimal. Proses dekomposisi merupakan proses pemutusan rantai hidrokarbon panjang menjadi rantai hidrokarbon pendek yang disebabkan *thermal cracking*.

Pada Gambar 3 terlihat jelas dari hasil uji gas chromatography bahwa nilai unsur hidrogen H₂ selalu meningkat dari temperatur 500 °C dengan nilai 15,074% , temperatur 600 °C dengan nilai 25,443% dan yang tertinggi ada pada temperatur 700 °C dengan nilai 34,618 % dari total unsur gas yang lain. Namun dari semua unsur gas yang ada pada syngas hasil gasifikasi masih didominasi oleh unsur metana CH₄. Unsur metana CH₄ pada proses gasifikasi ini mengalami nilai berbalik dibandingkan dengan hidrogen, dimana unsur metana mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya temperatur. Sedangkan untuk unsur CO₂ pada temperatur 500 °C dan 600 °C nilainya tidak jauh, tetapi pada saat temperatur 700 °C terlihat signifikan perbandingannya dimana nilai unsur CO₂ mengalami penurunan 10% dari unsur keseluruhan syngas.

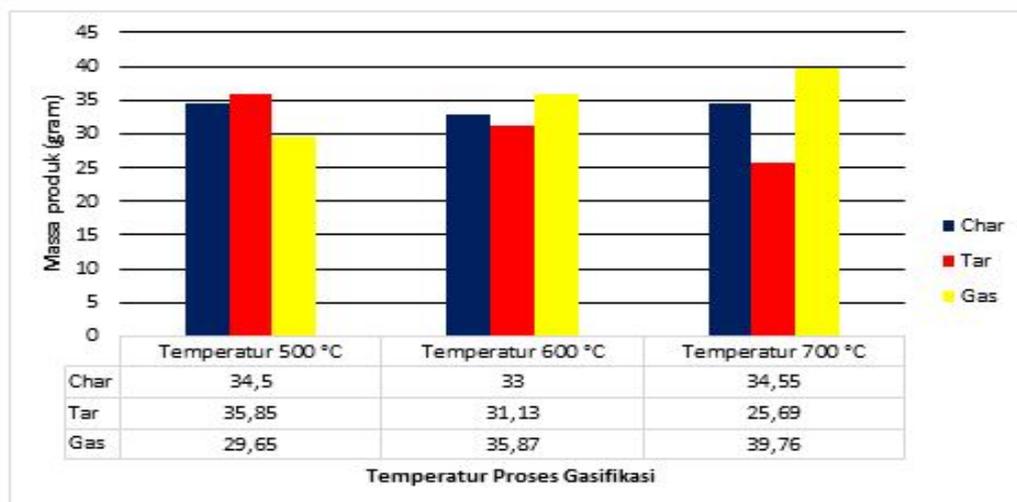
Menurut Kumabe K (2007) Komposisi dan kualitas gas terkandung pada kadar air, temperatur, agen gasifikasi dan katalis. Kandungan katalis Al₂O₃ dan SiO₄ pada bentonit menjadikan bentonit bersifat asam (mendonorkan ion H⁺) yang kemudian mendonorkan ion H⁺ kepada biomassa yang telah terdekomposisi, sehingga terbentuk ion karbenium yang bersifat tidak stabil dan reaktif, sehingga mengakibatkan produksi gas metana cenderung turun dan produksi gas hidrogen meningkat. Peningkatan unsur hidrogen karena terjadinya proses *dry reforming* dan *steam reforming* yaitu proses reaksi antara metana dengan CO₂ dan H₂O yang menghasilkan gas H₂.



c. Hasil gas, tar dan char

Produk hasil gasifikasi selain dipengaruhi oleh bahan yang digunakan juga dipengaruhi oleh temperatur. Pada temperatur tinggi char mengalami penurunan karena banyak biomassa yang terdekomposisi, sehingga menyebabkan produk char akan menjadi semakin sedikit. Pada awalnya penurunan berat bahan bakar terjadi tiga tahap: pengeringan biomassa dan batubara dibawah 125°C, pirolisis aktif terjadi pada temperatur 125°C dan 500°C dan pirolisis pasif diatas 500°C (Alka et al., 2018).

Menurut Collard dan Blin (2014) Biomassa mulai terdekomposisi diiringi dengan bertambahnya temperatur, sehingga biomassa akan mengalami reaksi pemecahan lanjut dan menghasilkan senyawa volatil. Senyawa tersebut terdiri dari senyawa volatil ringan dan berat. Senyawa volatil berat akan menghasilkan tar dan senyawa volatil ringan menjadi gas yang tidak terkondensasi. Pada temperatur tertentu, produk akan mengalami penurunan karena pada reaksi pemecahan lanjut akan menghasilkan lebih banyak senyawa volatil ringan.



Gambar 4 Persentase Char, Tar dan Gas

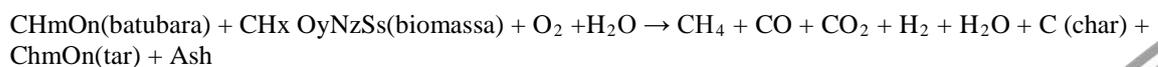
Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa persentase gas yang dihasilkan selama proses gasifikasi mengalami peningkatan seiring dengan tingginya temperatur yang digunakan selama proses gasifikasi, tetapi berbanding

terbalik dengan persentase tar, dimana persentase tar mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya temperatur, sedangkan untuk hasil persentase char di penelitian ini tidak terlalu banyak mengalami perubahan.

Persentase char, tar dan gas pada temperatur 500 °C yaitu sebesar char 34,5%, tar 35,85% dan gas 29,65% dari total keseluruhan dari hasil akhir proses gasifikasi, disini juga dapat dilihat bahwa persentase terendah dimiliki oleh gas. Sedangkan pada temperatur 700 °C menunjukkan nilai sebaliknya, dimana nilai persentase gas yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan persentase char dan tar.

Pada proses gasifikasi terjadi beberapa tahap, yaitu proses pengeringan batubara dan biomassa dibawah temperatur 125°C, pirolisis aktif terjadi antara temperatur 125°C dan 500°C dan pirolisis pasif pada temperatur diatas 500°C. Pada proses pengeringan terjadi proses kehilangan air atau penguapan pada biomassa, pirolisis aktif mengalami proses pemecahan molekul hemiselulosa, selulosa dan bagian dari lignin, dimana pada proses pirolisis ini masih banyak menghasilkan tar dan rantai ikatan kimia yang masih panjang, sedangkan pirolisis pasif atau bisa disebut jona gasifikasi terjadi pemecahan rantai ikatan kimia yang masih panjang secara terus menerus menjadi rantai ikatan kimia lebih pendek dan sempurna.

Menurut Kumar A (2009), dalam penelitiannya pada proses gasifikasi batubara dengan biomassa akan membentuk gas, tar dan char. Dimana molekul selulosa dan lignin yang terdapat pada batubara dan biomassa pecah menjadi molekul yang lebih ringan. Pembentukan ini terjadi karena konversi yang lengkap, hal ini bisa dilihat pada persamaan berikut:



4. Kesimpulan

Pada proses gasifikasi biomassa tandan kelapa sawit dengan penambahan katalis bentonit 10% dari berat total bahan baku dengan memvariasikan temperatur pada proses gasifikasi sebesar 500 °C, 600 °C dan 700 °C dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar temperatur proses gasifikasi mampu meningkatkan volume gas yang dihasilkan dan unsur hidrogen H₂ mengalami peningkatan, sedangkan untuk unsur metana CH₄ mengalami penurunan. Adapun untuk tar pada proses gasifikasi mengalami penurunan dengan seiring tingginya temperatur pada proses gasifikasi.

Daftar Pustaka

- [1] Deniz I, Vardar-Sukan F, Yüksel M, Saglam M, Ballice L, Yesil-Celiktas O. Hydrogen production from marine biomass by hydrothermal gasification. *Energy Convers Manage* 2015;96:124–30.
- [2] Moon J, Mun T, Yang W, Lee U, Hwang J, Jang E, et al. Effects of hydrothermal treatment of sewage sludge on pyrolysis and steam gasification. *Energy Convers Manage* 2015;103:401–7.
- [3] Abdullah H, Mourant D, Li C, Wu H. Bioslurry as a fuel. 3. Fuel and rheological properties of bioslurry prepared from the bio-oil and biochar of mallee biomass fast pyrolysis. *Energy Fuels* 2010;24(10):5669–76.
- [4] Galadima A, Muraza O. In situ fast pyrolysis of biomass with zeolite catalysts for bioaromatics/gasoline production: a review. *Energy Convers Manage* 2015;105:338–54.
- [5] Zhang R, Cummer K, Suby A, Brown RC. Biomass-derived hydrogen from an air-blown gasifier. *Fuel Process Tech* 2005; 86:861–74.
- [6] Karnjanakom S, Guan G, Asep B, Du X, Hao X, Samart C, et al. Catalytic steam reforming of tar derived from steam gasification of sunflower stalk over ethylene glycol assisting prepared Ni/MCM-41. *Energy Convers Manage* 2015;98:359–68.
- [7] Fremaux S, Beheshti S, Ghassemi H, Shahsavan-Markadeh R. An experimental study on hydrogen-rich gas production via steam gasification of biomass in a research-scale fluidized bed. *Energy Convers Manage* 2015;91:427–32.
- [8] A'yan Sabitah, Nurkholis Hamidi, Slamet Wahyudi. Gasifikasi Biomassa Limbah Sawit Dengan Penambahan Katalis Bentonit. *Prosiding KITT (Konferensi Ilmiah Teknologi Texmaco) | Vol 1, 2018*
- [9] Dou. et al. 2016. *In situ upgrading of pyrolysis biofuels by bentonite clay with simultaneous production of heterogeneous adsorbents for water treatment*. Department of Mechanical Engineering, Boston University, 110 Cummington Mall, Boston, MA 02215, United States
- [10] Guanyi Chen, Xiang Guo, Zhanjun Cheng, Beibei Yan, Zeng Dan, Wenchao Ma. *Air gasification of biogas-derived digestate in a downdraft fixed bed gasifier*. *Waste Management* 69 (2017) 162–169
- [11] Emami Taba, L., Irfan, M.F., Wan Daud, W.A.M., Chakrabarti, M.H.. The effect of temperature on various parameters in coal, biomass and CO-gasification: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 5584–5596, 2012.

- [12] Lahijani, P., Zainal, Z.A. Gasification of palm empty fruit bunch in a bubbling fluidized bed: A performance and agglomeration study. *Bioresour. Technol.* 102, 2068–2076, 2011.
- [13] Qin, K., Lin, W., Jensen, P.A., Jensen, A.D. High-temperature entrained flow gasification of biomass. *Fuel* 93, 589–600, 2012.
- [14] Seo, M.W., Goo, J.H., Kim, S.D., Lee, S.H., Choi, Y.C. Gasification characteristics of coal/biomass blend in a dual circulating fluidized bed reactor. *Energy Fuels* 24, 3108–3118, 2010.
- [15] Yang. et al. *Pyrolysis of Palm Oil Wastes for Biofuel Production*, Institute of Environmental Science and Engineering, Nanyang Technological University, Innovation Center, Singapore 637723, 2006.
- [16] Mohammed MAA, Salmiaton A, Wan A, Amran M. Gasification of oil palm fruit bunch : a characterization and kinetic study. *Bioresource Technology*. 110: 628-636, 2011.
- [17] Kumabe K, Hanaoka T, Fujimoto S, Minowa T, Sakanish K. Co-gasification of woody biomass and coal with air and steam. *Fuel* 2007;86(5–6):684–9.

