

## COMBUSTION PERFORMANCE OF SYNGAS FROM BIOMASS WASTE IN GAS BURNER SYSTEM

## PRESTASI PEMBAKARAN SYNGAS DARI SISA BIOJISIM DALAM SISTEM PEMBAKAR GAS

Mohd Oryza Mohd Mokhtar<sup>a</sup>, Mohammad Nazri Mohd Ja'afar<sup>a,b\*</sup>,  
Mustafa Yusoff<sup>a</sup>, Mazlan Said<sup>b</sup>, Muhammad Roslan Rahim<sup>b</sup>,  
Muhammad Syahiran Abdul Malik<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Sekolah Kejuruteraan Mekanikal, Fakulti Kejuruteraan, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Johor Bahru, Johor, Malaysia

<sup>b</sup>Institute for Vehicle Systems and Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Johor Bahru, Johor, Malaysia

### Article history

Received

18 January 2018

Received in revised form

21 June 2018

Accepted

18 July 2018

Published online

1 August 2018

\*Corresponding author  
nazri@mail.fkm.utm.my

### Graphical abstract



### Abstract

Syngas from biomass residues is an alternative fuel to address the ever-increasing fossil fuel supply problem and the issue of releasing toxic gases from the fossil fuel burning process. Syngas is also a renewable fuel and features environmentally friendly fuel. This study was conducted to investigate the performance of the syngas produced from oil palm shells (PKS) using fluidized bed gasifier. In this study, the produced syngas was tested for its combustion performance from the aspect of gas combustion temperature and resulting emission concentrations such as nitrogen oxide ( $\text{NO}_x$ ), carbon monoxide (CO) and sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ). The resulting syngas was studied at different ratio of air velocities to fuels. From the test, the ratio of velocity of air to fuel affects the gas combustion temperature and emission concentration. By increasing the air velocity to fuel ratio during the gasification process produces more positive effects primarily in improving the temperature of the gas burner combustion and reducing carbon monoxide (CO) emissions. However, the concentration of sulfur dioxide release ( $\text{SO}_2$ ) and nitrogen oxide ( $\text{NO}_x$ ) increase.

Keywords: Bubbling fluidized bed gasifier, syngas, gas burner, emission of gas emissions, biomass residues

### Abstrak

Syngas dari sisa biojisim merupakan bahan bakar alternatif untuk mengatasi masalah bekalan bahan api fosil yang semakin berkurangan serta permasalahan pelepasan gas-gas beracun dari proses pembakaran bahan api fosil tersebut. Syngas juga merupakan bahan api yang boleh dibaharui serta memiliki ciri-ciri bahan bakar yang mesra alam sekitar. Kajian ini dijalankan untuk menyiasat prestasi syngas yang dihasilkan dari tempurung kelapa sawit (TKS) menggunakan penggas lapisan terbendalir gelembung. Dalam kajian ini, syngas yang dihasilkan diuji prestasi pembakarannya dari aspek suhu pembakaran gas dan kepekatan emisi yang dihasilkan seperti oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), karbon monoksida (CO) dan sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ). Syngas yang dihasilkan dikaji pada nisbah halaju udara kepada bahan api yang berbeza. Dari ujian, halaju nisbah udara kepada bahan api mempengaruhi suhu pembakaran gas dan kepekatan pelepasan emisi. Dengan meningkatkan nisbah halaju udara kepada bahan api semasa proses penggasan menghasilkan lebih banyak

kesan positif terutamanya dalam meningkatkan prestasi suhu pembakar gas dan mengurangkan pelepasan karbon monoksida (CO). Bagaimanapun, kepekatan pelepasan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) meningkat.

*Kata kunci:* Penggas lapisan terbendalir gelembung, syngas, pembakar gas, pelepasan gas emisi, sisa biojisim

© 2018 Penerbit UTM Press. All rights reserved

## 1.0 PENGENALAN

Penggunaan bahan bakar dari sumber biojisim semakin meningkat di bahagian utara, tengah dan timur Eropah. Menurut Suruhanjaya Eropah dalam strategi komuniti dan pelan tindakan kertas putih mereka menurut dasar-dasar Kesatuan Eropah (EU), biojisim dijangka memainkan peranan utama sebagai sumber tenaga boleh diperbahui [1].

Pengeluaran syngas dari biojisim adalah bahan bakar alternatif yang menggalakkan untuk menggantikan bahan api fosil. Banyak kelebihan yang boleh diperolehi daripada syngas seperti bahan bakar pembakaran bersih yang menyumbang dengan ketara kepada bekalan tenaga dunia. Potensi pengeluaran gas rumah hijau juga dapat dikurangkan dengan menggunakan tenaga dari syngas. Menggunakan alat penggasan sebagai medium untuk penghasilan syngas memberikan banyak manfaat kepada orang ramai, kerana sumber biojisim yang sangat banyak.

Gas sintesis (atau syngas) dianggap sebagai salah satu tenaga alternatif yang berpotensi kerana ciri-ciri bahan bakar yang bersih alam sekitar. Syngas dihasilkan melalui proses penggasan dari bahan-bahan karbon oleh tindak balas retak terma [2]. Ia terdiri daripada hidrogen (H<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen (N<sub>2</sub>), wap air, metana (CH<sub>4</sub>) dan lain-lain hidrokarbon [3].

Dalam kajian ini, penghasilan syngas akan menggunakan tempurung kelapa sawit (TKS) sebagai bahan mentah. TKS adalah pecahan tempurung yang tersisa selepas isirung kelapa sawit telah dikeluarkan selepas proses menghancurkan. Kandungan kelembapan dalam kernel tempurung adalah rendah berbanding dengan sisa biojisim lain dari sumber berbeza yang menunjukkan nilai antara 11% dan 13%. Tempurung kelapa sawit mengandungi sisa minyak sawit yang menyumbang nilai haba lebih tinggi sedikit daripada nilai purata biojisim lignoselulosa [4].

Untuk kajian ini, penggas lapisan terbendalir gelembung akan digunakan bagi menghasilkan syngas. Reaktor lapisan terbendalir gelembung adalah sejenis reaktor yang boleh digunakan untuk melakukan pelbagai tindak balas kimia berbilang fasa. Di dalam reaktor jenis ini, bendalir (gas atau cecair) akan dialirkan melalui bahan berbutir pepejal (biasanya pemangkin yang mungkin dibentuk sebagai sfera kecil) pada halaju yang cukup tinggi untuk mengapung pepejal tersebut dan menyebabkannya berkelakuan

seolah-olah ia adalah cecair [5]. Di samping itu, syngas yang dihasilkan akan diuji dalam pembakar gas untuk membuktikan bahawa syngas yang dihasilkan mampu menghasilkan haba dari pembakar.

Gas sintesis (atau syngas) disebut-sebut sebagai salah satu daripada tenaga alternatif yang berpotensi kerana ciri-ciri bahan apinya yang bersih alam sekitar dan keupayaan untuk mengurangkan kesan gas rumah hijau [6]. Syngas boleh digunakan secara langsung sebagai bahan api gas untuk menghasilkan elektrik atau haba dan juga sebagai pengantara utama dalam industri kimia untuk menghasilkan metanol, dimetil eter (DME), dan metil tert-butil eter (MTBE) untuk bahan api pengangkutan cecair [7]. Terdapat banyak jenis sumber bahan api atau bahan mentah untuk menghasilkan syngas. Ia boleh diperolehi daripada penggasan bahan mentah pepejal seperti biojisim, arang batu, sisa penapisan, sisa organik dan sisa perbandaran [8, 9]. Di antara semua sumber, biojisim menawarkan potensi yang besar untuk sumber tenaga utama yang boleh diperbahui, mampan dan mesra alam [10].

Untuk penukaran termokimia tenaga, biojisim boleh digunakan melalui tiga proses berbeza: penggasan, pirolisis dan pembakaran langsung [11]. Daripada proses-proses itu tadi, penggasan biojisim adalah satu kaedah yang berpotensi untuk menghasilkan bahan bakar gas yang bersih untuk pembakaran dalam dandang dan dalam enjin pembakaran dalam [12, 13]. Dalam keadaan sebenar, produk sampingan yang tidak diingini seperti tar akan dihasilkan oleh proses penukaran penggasan [14]. Tar terdiri daripada campuran bahan hidrokarbon kompleks. Tar perlu dikeluarkan atau diproses lebih lanjut, jika tidak, ia akan memeluwap di hilir peralatan [15, 16]. Kotoran yang terkandung dalam bahan pepejal merupakan sebatian sulfur, nitrogen, dan klorin. Mereka perlu dikeluarkan dari syngas yang dihasilkan. [17]. Selain itu, sisa abu pepejal adalah tidak organik dan tidak mudah terbakar, dengan itu perlu dipisahkan [18, 19].

Penggasan merupakan penukaran biojisim, atau bahan api pepejal, ke dalam bentuk syngas bertenaga melalui proses pengoksidaan separa pada suhu tinggi [20, 21]. Proses penggasan berlaku oleh haba yang dihasilkan daripada oksida karbon untuk memulihara tindak balas penggasan [21]. Ejen pengudaraan atau oksida (udara atau oksigen) akan ditambah kepada bahan api pepejal untuk menghasilkan bahan api bertenaga [21, 22]. Sebahagian tindak balas penggasan melibatkan penggunaan air atau wap [23,

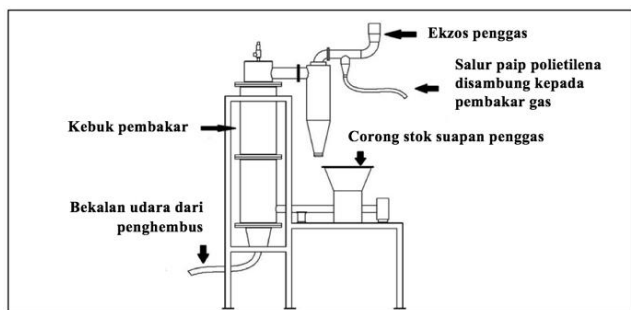
24]. Di samping itu, air atau wap akan digunakan untuk mengawal suhu reaksi [25]. Kajian tentang pembangunan proses pengelasan telah lama dilakukan oleh ramai penyelidik untuk meningkatkan kecekapan, keboleheroperasian dan hasil sistem. Secara umumnya, hasil produk dan komposisi gas bergantung kepada beberapa parameter termasuk suhu, agen pemanasan, spesies biojisim, saiz zarah, kadar pemanasan, tekanan operasi, nisbah setara, penambahan pemangkin dan konfigurasi reaktor [26] yang akan meningkatkan hasil syngas dan mengurangkan pembentukan tar juga [27, 28]. Jenis reaktor juga merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan hasil yang diperoleh.

## 2.0 METODOLOGI

### 2.1 Pelantar Ujian Pengelasan

Untuk kajian ini, pengelasan yang digunakan untuk menghasilkan syngas daripada tempurung kelapa sawit adalah daripada jenis lapisan terbendalir gelembung seperti ditunjukkan secara skematik dalam Rajah 1 dan gambarfoto dalam Rajah 2. Kebuk lapisan terbendalir gelembung dilengkapi dengan tiga pengkandungan haba yang diletakkan secara menegak untuk mengukur suhu pengelasan. Pengelasan lapisan terbendalir gelembung ini dibangunkan oleh penyelidik Kumpulan Penyelidikan Turbin Gas untuk projek mereka yang terdahulu. Suhu operasi pengelasan adalah  $1000^{\circ}\text{C}$  dan saiz bahan bakar tidak melebihi 50mm kerana operasi kos yang rendah dan pembinaan yang mudah.

Stok suapan biojisim dituangkan ke dalam corong pengelasan dan terus dihantar ke dalam ruang kebuk dengan menggunakan alat suapan skru berputar yang disambungkan ke corong pengelasan dan ruang kebuk. Serat kelapa yang terbakar disalurkan melalui leher kebuk untuk menyalakan bahan suapan. Aliran udara dari penghembus ditingkatkan perlahan-lahan untuk membolehkan bahan suapan dibakar di dalam kebuk pembakar sehingga suhu pengelasan melebihi  $700^{\circ}\text{C}$  dicapai. Setelah mencapai suhu lebih tinggi daripada  $700^{\circ}\text{C}$ , bekalan udara diselaraskan sehingga syngas terhasil dan berupaya menampung nyalaan di bahagian atas paip ekzos.



Rajah 1 Rajah skematik rig lapisan terbendalir gelembung



Rajah 2 Foto pelantar ujian pengelasan lapisan terbendalir

### 2.2 Penyediaan Pelantar Ujian Pembakaran Syngas

Rajah 3 menunjukkan pelantar ujikaji untuk ujian pembakaran syngas. Pelantar itu termasuk pengkandungan haba jenis-K dengan suhu maksimum  $1300^{\circ}\text{C}$ , kebuk pembakar terbuka hujung diperbuat daripada keluli lembut dengan panjang 1000mm yang tertebat dengan simen Hy-cast, pencatat data suhu jenama Midi, penunjuk kelajuan udara model LCA 6000 dan penganalisis gas model Horiba Enda 5000.

Pembakaran syngas dilakukan di dalam kebuk pembakaran. Penunjuk kelajuan udara digunakan untuk menetapkan beberapa nisbah halaju udara kepada halaju bahan api yang berbeza. Lapan pengkandungan haba diletakkan di sepanjang dinding kebuk pembakaran, pada jarak 100 mm di antara satu sama lain. Pengkandungan haba disambungkan kepada pencatat data suhu Midi yang mengubah isyarat elektrik dari pengkandungan menjadi nilai suhu di sepanjang dinding kebuk pembakaran. Kebuk gas emisi disambungkan ke bahagian ekzos kebuk pembakaran untuk menyalurkan gas emisi dari pembakaran syngas kepada penerima penganalisis gas. Penerima akan mengumpul gas emisi dan menghantarnya ke penganalisis gas Horiba Enda 5000 untuk memaparkan nilai kepekatan gas yang diukur iaitu  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{CO}$ .



Rajah 3 Pelantar ujian pembakaran syngas

### 3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Hasil ujikaji yang dibentangkan dalam bahagian ini adalah untuk ujian penggasan dan ujian pembakaran syngas seperti suhu dalam penggas untuk ujian penghasilan syngas, taburan suhu dinding kebuk pembakar dan kepekatan gas emisi untuk ujian pembakaran syngas.

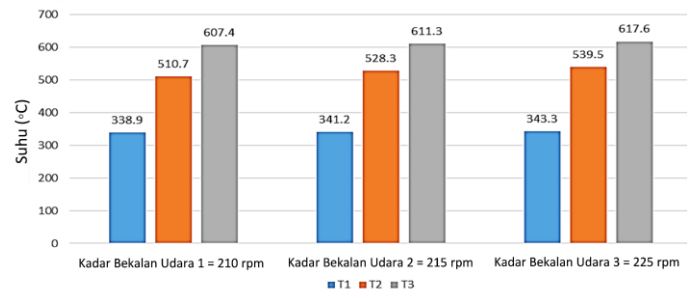
Suhu dinding adalah berdasarkan suhu yang dikesan oleh pengganding haba di sepanjang dinding kebuk pembakaran dan dilakarkan terhadap jarak pengganding haba dari bahagian masuk pembakar. Suhu ini secara kasarnya memberikan anggaran bentuk nyalaan yang terhasil walaupun ia tidak memberikan nilai sebenar suhu nyalaan di bahagian tengah kebuk pembakar.

Sementara itu, kepekatan gas emisi  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{CO}$  dilakarkan melawan nisbah halaju udara kepada bahan api. Kesemua ini dibentangkan di bahagian ini dan dibincangkan secara terperinci.

#### 3.1 Suhu Penggas Lapisan Terbendalir

Rajah 4 menunjukkan histogram taburan suhu pengganding haba untuk bekalan udara yang berbeza di sepanjang dinding kebuk penggas selepas menghasilkan syngas. Terdapat tiga kedudukan pengganding haba pada kebuk pembakaran di sepanjang dinding penggas. Suhu tertinggi adalah untuk pengganding haba 3, iaitu yang paling dekat dengan zon pembakaran, diikuti oleh pengganding haba 2 dan akhirnya suhu pengganding haba 1. Dari histogram, dapat dilihat bahawa suhu meningkat dengan meningkatnya bekalan udara kerana terdapat lebih banyak oksigen dan lebih tekanan dibekalkan di dalam zon pembakaran.

Rajah 5 menunjukkan histogram suhu terhadap bekalan udara sebelum menghasilkan syngas. Tren ini adalah sama dengan histogram yang ditunjukkan dalam Rajah 4. Perbezaannya ialah, nilai suhu dan bekalan udara dalam Rajah 5 adalah lebih tinggi daripada yang ditunjukkan dalam Rajah 4. Sebab mengapa suhu sebelum penghasilan syngas lebih tinggi daripada suhu selepas penghasilan syngas adalah kerana kebuk pembakaran mengalami proses pembakaran. Untuk mencapai suhu lebih rendah daripada  $700^\circ\text{C}$  seperti yang disebutkan dalam bahagian metodologi, lebih banyak bekalan udara diperlukan untuk menjadikan proses lebih pantas. Proses pembakaran menggunakan banyak oksigen untuk menghasilkan haba dan cahaya dengan membakar.

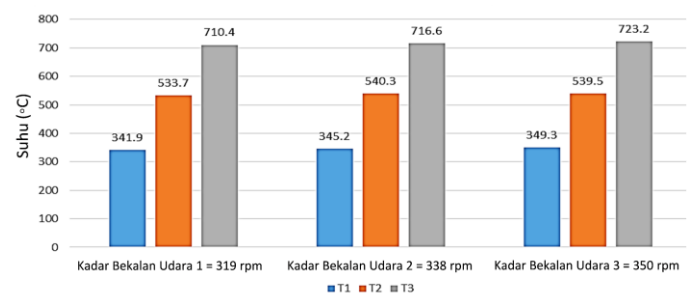


**Rajah 4** Suhu dinding penggas lapisan terbendalir gelembong melawan kadar bekalan udara (rpm) selepas penghasilan syngas

Apabila proses pembakaran sudah mencapai suhu lebih rendah daripada  $700^\circ\text{C}$ , bekalan udara akan dikurangkan sehingga ia menghasilkan syngas yang melalui proses penggasan. Proses penggasan hanya menggunakan sedikit oksigen, yang digabungkan dengan wap dan dicampur di bawah tekanan yang terlalu tinggi. Ini juga menjelaskan mengapa bekalan udara dalam Rajah 4 lebih rendah daripada bekalan udara dalam Rajah 5. Seperti yang dibincangkan sebelum ini, bekalan udara juga memberi kesan ke atas suhu di dalam zon pembakaran.

#### 3.2 Profil Suhu Pembakar Gas

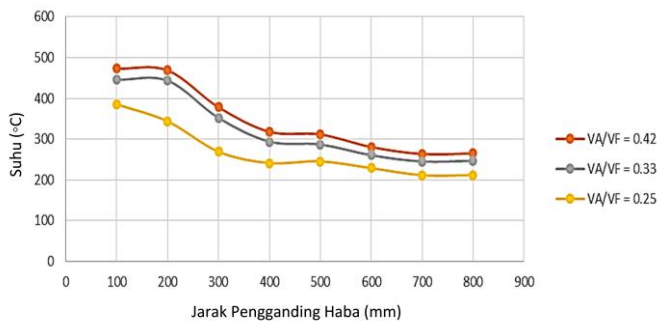
Rajah 6 menunjukkan graf profil suhu dinding terhadap jarak pengganding haba untuk nisbah halaju udara-bahan api yang berbeza. Suhu tertinggi dalam pembakar gas adalah untuk nisbah halaju udara-bahan api 0.42 dengan nilai  $473.1^\circ\text{C}$ , diikuti oleh nisbah halaju udara kepada bahan api 0.33 dan 0.25 dengan nilai suhu masing-masing ialah  $445.8^\circ\text{C}$  dan  $385.8^\circ\text{C}$ . Suhu pembakar gas dipengaruhi oleh nisbah halaju udara-bahan api. Suhu pembakar gas berkurangan dengan berkurangnya nisbah halaju udara-bahan api.



**Rajah 5** Suhu dinding penggas lapisan terbendalir gelembong melawan kadar bekalan udara (rpm) sebelum penghasilan syngas



Dari graf yang ditunjukkan dalam Rajah 6, untuk semua nisbah halaju udara-bahan api, suhu juga berkurang dengan bertambahnya jarak pengganding haba dari bahagian masukan ke pembakar. Ini juga dipengaruhi oleh jarak pengganding haba dari sumber pembakaran. Pengganding haba terdekat dengan sumber pembakaran adalah pengganding haba 1 dengan suhu tertinggi manakala pengganding haba paling jauh adalah pengganding haba 8 dengan suhu terendah. Secara anggarannya, boleh diramalkan bahawa panjang nyalaan adalah sekitar 400 hingga 500 mm dari kemasukan ke pembakar gas. Ini ketara dengan nilai atau profil suhu dinding kebek yang mula mendatar pada jarak tersebut hingga ke hujung kebek.



**Rajah 6** Taburan suhu dinding melawan jarak kebek pada nisbah laju udara kepada laju bahan api yang berbeza

### 3.3 Gas Emisi dari Proses Pembakaran Syngas

Gas emisi yang dihasilkan semasa pembakaran syngas yang terhasil dari tempurung kelapa sawit adalah untuk membandingkan keberkesanan dan prestasi syngas yang dihasilkan sebagai pengganti atau alternatif kepada bahan api fosil. Jenis gas emisi yang diambil kira ialah oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), karbon monoksida (CO) dan sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) kerana gas-gas ini merupakan bahan pencemar utama. Jumlah pelepasan yang dihasilkan diukur dalam unit bahagian per sejuta (ppm) menggunakan penganalisis gas Horiba Enda 5000 yang diletak di hujung kebek pembakaran.

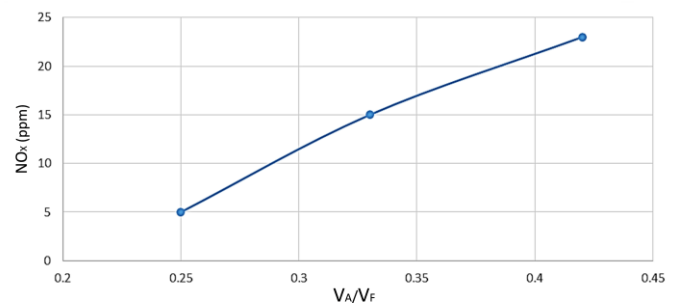
#### 3.3.1 Emisi $\text{NO}_x$

Nitrogen oksida adalah produk dari tindak balas nitrogen dan oksigen dalam udara dengan bahan api hidrokarbon. Semasa pembakaran,  $\text{NO}_x$  dihasilkan dengan adanya oksigen dan nitrogen pada suhu tinggi [29]. Rajah 7 menunjukkan jumlah  $\text{NO}_x$  yang dihasilkan oleh syngas pada nisbah halaju udara kepada bahan api yang berbeza.

Dari Rajah 7, ternyata  $\text{NO}_x$  dipengaruhi oleh kepekatan oksigen dalam bahan api dan suhu pembakar gas pada nisbah halaju udara kepada bahan api yang berbeza.  $\text{NO}_x$  tertinggi dihasilkan pada nisbah halaju udara-bahan api 0.42 dengan nilai kepekatan 23 ppm, diikuti oleh nisbah halaju udara-bahan api 0.33 dan 0.25, dengan nilai kepekatan 15

ppm dan 5 ppm, masing-masing. Nilai kepekatan  $\text{NO}_x$  meningkat dengan meningkatnya nisbah halaju udara-bahan api kerana jumlah oksigen yang banyak dalam halaju udara yang lebih tinggi. Udara pada nilai halaju yang lebih rendah merupakan udara pada jumlah yang lebih rendah. Ini menyebabkan penurunan jumlah oksigen dan perkara ini mengurangkan pembentukan emisi  $\text{NO}_x$  semasa pembakaran. Sebaliknya, untuk halaju udara yang lebih tinggi, terdapat lebih banyak oksigen semasa pembakaran. Ini bermakna bahawa terdapat kurang oksigen dalam udara untuk bertindak balas dengan nitrogen untuk menghasilkan  $\text{NO}_x$  [30].

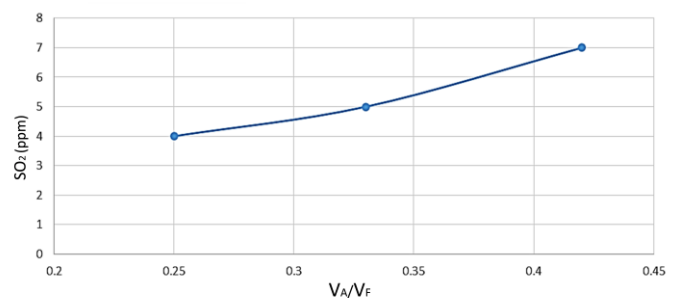
Pengurangan  $\text{NO}_x$  juga dipengaruhi oleh suhu pembakar gas. Suhu pembakar gas dipengaruhi oleh nisbah bahan api dan halaju udara. Suhu pembakar gas berkurangan dengan berkurangnya nisbah halaju udara-bahan api. Oleh itu, apabila suhu pembakaran adalah rendah, ia mengurangkan pembentukan  $\text{NO}_x$  yang memerlukan suhu gas pembakaran yang tinggi.



**Rajah 7** Kepekatan nitrogen oksida (ppm) melawan jarak kebek pada nisbah laju udara kepada laju bahan api yang berbeza

#### 3.3.2 Emisi $\text{SO}_2$

Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) merupakan salah satu daripada emisi yang dipancarkan dalam jumlah terbesar hasil dari pembakaran bahan api fosil di kemudahan industri dan loji kuasa.  $\text{SO}_2$  dihasilkan terutamanya oleh pembakaran pada suhu tinggi dan juga bergantung kepada kandungan sulfur dalam bahan api. Rajah 8 menunjukkan jumlah  $\text{SO}_2$  yang dihasilkan oleh syngas kernel kelapa sawit pada tiga nisbah halaju udara-bahan api.

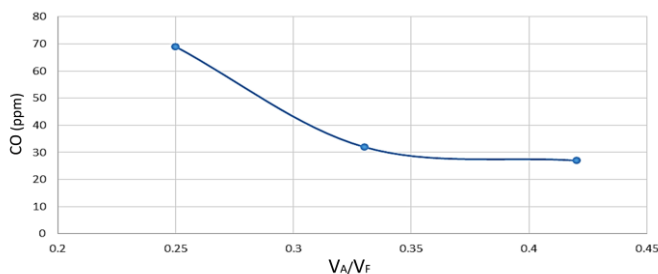


**Rajah 8** Kepekatan sulfur dioksida (ppm) melawan jarak kebek pada nisbah laju udara kepada laju bahan api yang berbeza

Rajah 8 menunjukkan bahawa kepekatan sulfur dioksida berkurangan apabila nisbah halaju udara-bahan api berkurang. Nilai tertinggi SO<sub>2</sub> pada nisbah halaju udara-bahan api 0.42 dengan 7 ppm diikuti oleh nisbah halaju udara-bahan api 0.33 dan 0.25 dengan 5 ppm dan 4 ppm. Udara berlebihan menyebabkan campuran dicairkan dengan lebih udara yang mana menghalang reaksi antara sulfur dan oksigen dalam membentuk SO<sub>2</sub> [30].

### 3.3.3 Emisi CO

Rajah 9 menunjukkan jumlah CO dihasilkan oleh syngas pada pelbagai nisbah kelajuan udara kepada bahan api. Dari Rajah 9, dapat diperhatikan bahawa pelepasan CO meningkat apabila nisbah halaju udara-bahan api berkurang. Nilai kepekatan CO paling rendah dihasilkan pada nisbah halaju udara-bahan api 0.42 dengan 27 ppm diikuti oleh nisbah halaju udara-bahan api 0.32 dan 0.25, dengan 32 ppm dan 67 ppm. Pengurangan halaju udara bermakna pengurangan kandungan oksigen dalam bahan bakar. Ini bermakna kandungan karbon dan hidrogen adalah lebih rendah. Di samping itu, peningkatan dalam pembakaran suhu pembakaran gas mengakibatkan pengurangan pembakaran tidak lengkap. Oleh itu kereaktifan karbon dan oksigen juga berkurang, dengan itu menghasilkan kurang CO.



**Rajah 9** Kepekatan karbon monoksida (ppm) melawan jarak kebuk pada nisbah laju udara kepada laju bahan api yang berbeza

## 4.0 KESIMPULAN

Dalam penggas lapisan terbendalir gelembung, suhu meningkat apabila bekalan udara bertambah. Ini akan menjadikan zon pembakaran mencapai keadaan yang sempurna untuk menghasilkan syngas dari tempurung kelapa sawit. Oleh itu, dapat disimpulkan di sini bahawa untuk meningkatkan suhu di zon pembakaran lapisan terbendalir ke 600°C hingga 700°C bekalan udara juga perlu ditingkatkan untuk mencapai suhu yang dikehendaki. Prestasi pembakaran dalam pembakar gas dipengaruhi oleh nisbah laju udara kepada nisbah bahan api. Prestasi pembakaran berkurangan dengan pengurangan nisbah halaju bahan api-udara. Untuk mengurangkan kepekatan gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>, nisbah udara kepada bahan api juga perlu dikurangkan. Ini kerana gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> dipengaruhi oleh kepekatan oksigen.

Jika nisbah halaju udara kepada bahan api lebih tinggi, maka lebih banyak oksigen terlibat dalam pembakaran. Dengan itu akan menghasilkan lebih banyak gas emisi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>. Peningkatan dalam nisbah halaju udara-bahan api mengurangkan pelepasan CO kerana kenaikan nisbah halaju udara-bahan api menyebabkan suhu dalam pembakar gas juga meningkat. Dengan yang demikian, jika pembakaran adalah semakin lengkap, maka pengeluaran gas emisi CO akan semakin berkurangan.

Kesimpulan keseluruhan yang boleh dibuat ialah nisbah halaju udara-bahan api mempengaruhi suhu pembakar gas dan kepekatan pelepasan emisi. Peningkatan nisbah halaju bahan api-udara dalam proses penggasan memberikan kesan yang lebih positif terutamanya dalam meningkatkan prestasi suhu pembakar gas serta mengurangkan penghasilan gas emisi karbon monoksida (CO).

## Penghargaan

Penulis ingin mengucapkan setinggi-tinggi terima kasih kepada Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia kerana menganugerahkan geran penyelidikan bagi menjalankan projek ini (nombor projek: 4F976) dan Pusat Pengurusan dan Penyelidikan, Universiti Teknologi Malaysia yang telah menguruskan geran ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Sekolah Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia kerana menyediakan kemudahan ruang bagi menjalankan penyelidikan ini.

## Rujukan

- [1] Stichnothe, H., Schuchardt, F., and Rahutomo, S. 2014. European Renewable Energy Directive: Critical Analysis of Important Default Values and Methods for Calculating Greenhouse Gas (GHG) Emissions of Palm Oil Biodiesel. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 19(6): 1294-1304. doi: 10.1007/s11367-014-0738-x.
- [2] Fu, J., Tang, C., Jin, W., Thi, L. D., Huang, Z., and Zhang, Y. 2013. Study on Laminar Flame Speed and Flame Structure of Syngas with Varied Compositions Using OH-PLIF and Spectrograph. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(3): 1636-1643. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.11.023>.
- [3] Shih, H.-Y., and Hsu, J.-R. 2011. A Computational Study of Combustion and Extinction of Opposed-Jet Syngas Diffusion Flames. *International Journal of Hydrogen Energy*. 36(24): 15868-15879. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.09.037>.
- [4] Cheng, S. F., Nor, L., M., and Chuah, C. H. 2011. Microwave Pretreatment: A Clean and Dry Method for Palm Oil Production. *Industrial Crops and Products*. 34(1): 967-971. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.002>.
- [5] Arromdee, P., and Kuprianov, V. I. 2012. A Comparative Study on Combustion of Sunflower Shells in Bubbling and Swirling Fluidized-bed Combustors with a Cone-shaped Bed. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 62: 26-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.10.002>.
- [6] Jin Fu, Chenglong Tang, Wu Jin, Luong Dinh Thi, Zuohua Huang and Yang Zhang. 2013. Study on Laminar Flame Speed and Flame Structure of Syngas with Varied

- Compositions Using OH-PLIF and Spectrograph. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38: 1636-1643.
- [7] Juan Daniel Martínez, Khamid Mahkamov, Rubenildo V. Andrade, Electo E. and Silva Lora, 2012. Syngas Production in Downdraft Biomass Gasifiers and Its Application Using Internal Combustion Engines. *Renewable Energy*. 38: 1- 9.
- [8] Gregory, A., Hackett, Kirk Gerdes, Xueyan Song, Yun Chen, Vaithiyalingam Shutthanandan, Mark Engelhard, Zihua Zhu, Suntharampillai Thevuthasan and Randall Gemmena. 2012. Performance of Solid Oxide Fuel Cells Operated with Coal Syngas Provided Directly from a Gasification Process. *Journal of Power Sources*. 214: 142-152.
- [9] Gadalla, M., A. F. Emun, A.T. Majazi, and B. L. Jiménez. 2009. Environmental Design of IGCC through Pinch Analysis, Process Integration and Parameters Analysis. *19th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE19 Elsevier*.
- [10] Li Qingyuan, Ji Shengfu, Hu Jinyong and Jiang Sai. 2013. Catalytic Steam Reforming of Rice Straw Biomass To Hydrogen-Rich Syngas over Ni-based Catalysts. *Chinese Journal of Catalysis*. 34: 1462-1468.
- [11] Mustafa Balat, Mehmet Balat, Elif Kirtay and Havva Balat, 2009. Main Routes for the Thermo-conversion of Biomass Into Fuels and Chemicals. Part 1: Pyrolysis Systems. *Energy Conversion and Management*. 50: 3147-3157.
- [12] Mayerhofer, M., S. Fendt, H. Spliethoff and M. Gaderer. 2014. Fluidized Bed Gasification of Biomass—In Bed Investigation of Gas and Tar Formation. *Fuel*. 117: 1248-1255.
- [13] Mohammad Asadullah. 2014. Barriers of Commercial Power Generation Using Biomass Gasification Gas: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 29: 201-215.
- [14] Emanuele Graciosa Pereira, Jadir Nogueira da Silva, Jofran L. de Oliveira, Cassio and S. Machado. 2012. Sustainable Energy: A Review of Gasification Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16: 4753-4762.
- [15] Qinglong Xie, Fernanda Cabral Borges, Yanling Cheng, Yiqin Wana, Yun Li, Xiangyang Lin, Yuhuan Liu, Fida Hussain, Paul Chen, and Roger Ruan. 2014. Fast Microwave-Assisted Catalytic Gasification of Biomass for Syngas Production and Tar Removal. *Bioresource Technology*. 156: 291-296.
- [16] Deshun Xu, Douglas R. Tree, Randy and S. Lewis. 2011. The Effects of Syngas Impurities on Syngas Fermentation to Liquid Fuels. *Biomass and Bioenergy*. 35: 2690-2696.
- [17] Yohan Richardson, Joël Blin and Anne Julbe. 2012. A Short Overview on Purification and Conditioning of Syngas Produced by Biomass Gasification: Catalytic Strategies, Process Intensification and New Concepts. *Progress in Energy and Combustion Science*. 38: 765-781.
- [18] Deepak Pudasainee, Hanns-Rudolf Paur, Sabine Fleck and Helmut Seifert. 2014. Trace Metals Emission in Syngas from Biomass Gasification. *Fuel Processing Technology*. 120: 54-60.
- [19] Ma, M., M. Müller, J. Richter, R. Kriegel, D. Böhning, M. Beckmann, J. Glösing and N. Ruhe, 2013. Investigation of Combined Catalyst and Oxygen Carrier Systems for the Partial Oxidation of Naphthalene as Model Tar from Biomass Gasification. *Biomass and Bioenergy*. 53: 65-71.
- [20] Li Dong, Mohammad Asadullah, Shu Zhang, Xiao-Shan Wang, Hongwei Wu and Chun-Zhu Li, 2013. An Advanced Biomass Gasification Technology with Integrated Catalytic Hot Gas Cleaning Part I. Technology and Initial Experimental Results in a Lab-scale Facility. *Fuel*. 108: 409-416.
- [21] Andrés, Z., Mendiburu, João A. Carvalho Jr., and Christian J. R. Coronado, 2013. Thermochemical Equilibrium Modelling of Biomass Downdraft Gasifier: Stoichiometric Models. *Energy*. 66: 189-201.
- [22] Nimit Nipattummakul, Islam I. Ahmed, Ashwani K. Gupta, and Somrat Kerdsuwan. 2011. Hydrogen and Syngas Yield from Residual Branches of Oil Palm Tree Using Steam Gasification. *International Journal of Hydrogen Energy*. 36: 3835-3843.
- [23] John Dascomb, Anjaneyulu Krothapalli and Reza Fakhrai. 2013. Thermal Conversion Efficiency of Producing Hydrogen Enriched Syngas from Biomass Steam Gasification. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38: 11790-11798.
- [24] Geo, A., Richards, H. Kent, Casleton, and T. Nathan. 2010. Weiland, Syngas Utilization, *Synthesis Gas Combustion-Fundamentals and Applications*. Taylor and Francis Group. 200-202.
- [25] Mohammed, M. A. A., A. Salmiatona, W. A. K. G. Wan Azlina, M.S. Mohammad Amran, A. Fakhru'l-Razi, and Y.H. Taufiq-Yap, 2011. Hydrogen rich gas from oil palm biomass as a potential source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 1258-1270.
- [26] Pengmei Lv, Zhenhong Yuan, Chuangzhi Wu, Longlong Ma, Yong Chen and Noritatsu Tsubaki, 2007. Bio-syngas production from biomass catalytic gasification, *Energy Conversion and Management*, 48: 1132-1139.
- [27] Wenjun Zou, Congcong Song, Shaoping Xu, Chao Lu, and Yalkunjan Tursun, 2013. Biomass gasification in an external circulating counter current moving bed gasifier, *Fuel*, 112: 635-640.
- [28] Marcin Siedlecki, Wiebren de Jong and Adrian H.M. Verkooijen, 2011. Fluidized Bed Gasification as a Mature and Reliable Technology for the Production of Bio-Syngas and Applied in the Production of Liquid Transportation Fuels—A Review, *Energies*, 4: 389-434.
- [29] Strakey, P., Weiland, N. and Richards, G. 2006. *Combustion Strategies for Syngas and High-Hydrogen Fuel*. The Gas Turbine Handbook.
- [30] Heravi, H. M., Hosseini, S. B., Bamoharram, F. F. and Baharara, J. 2015. The Effect of Various Vegetable Oil on Pollutant Emission of Biodiesel Blends with Gasoil in A Furnace. *Thermal Science*, Vol. 19 (6): 1977-1984.