

Proses katalitik gasifikasi kulit durian (*Durio zibethinus*) untuk produksi *synthetic natural gas* (SNG)

Catalytic gasification process of durian (*Durio zibethinus*) peel for synthetic natural gas (SNG) production

Rizka W. Putri^{*}, Asyeni M. Jannah, Roosdiana Muin, R. Rahmatullah

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang- Indonesia

*Email: rizkawulandari.unsri@gmail.com

Abstrak

Durian (*Durio zibethinus*) merupakan buah yang banyak diminati di Indonesia, khususnya di Sumatera Selatan. Komposisi daging buah durian hanya mencapai 21% dibandingkan dengan sisa kulit dan biji yang akan menjadi sampah sekitar 79%. Permasalahan yang ditimbulkan dari sampah kulit durian ini antara lain masalah estetika, kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan pemanfaatan kulit durian yang memiliki potensi menjadi energi terbarukan berupa *synthetic natural gas* (SNG). Kandungan lignoselulosa pada kulit durian dapat diproses melalui gasifikasi katalitik untuk menjadi gas CO, CO₂, CH₄ dan H₂. Pada penelitian ini, proses gasifikasi dilakukan pada range temperatur 250 °C - 400 °C dengan bantuan katalis zeolit sebanyak 8% berat katalis. Dari hasil proses tersebut, didapatkan hasil terbaik pada suhu 300 °C dengan perolehan gas berupa 13,7 % CH₄, 29,6 % CO, 31 % CO₂ dan 7,9 % H₂ dengan sisanya berupa gas 13 % N₂ dan 4,8 % Ar. Hal ini menunjukkan dengan bantuan katalis dapat menurunkan suhu optimum untuk proses gasifikasi. Untuk laju gasifikasi spesifik meningkat seiring kenaikan temperatur dengan laju maksimum 2,31 kg/h.m² pada suhu 400 °C.

Kata Kunci: gasifikasi katalitik, sampah durian, *synthetic natural gas*, zeolit

Abstract

Durian (*Durio zibethinus*) is a favorite fruit in Indonesia, especially in South Sumatra. The composition of the durian are 21 % pulp and 79 % peel and seeds. The problems caused by durian peel waste such as aesthetic, health and environmental problems. Moreover, durian peel is potentially converted into synthetic natural gas (SNG) as renewable energy resources. Lignocellulose content in durian peel can be converted through catalytic gasification into CO, CO₂, CH₄ and H₂. In this study, the classification process was carried out at a temperatur range of 250 °C - 400 °C with 8% wt of zeolit catalyst. In this work, the best results were obtained at a temperatur of 300 °C with gas contain of 13.7 % CH₄, 29.6 % CO, 31 % CO₂ and 7.9 % H₂ with the remaining gases 13 % N₂ and 4.8 % Ar. It shows that with the help of a catalyst it can reduce the optimum gasification temperature. The specific gasification rate increases by temperature increases with maximum rate of 2.31 kg/h.m² at 400 °C.

Keywords: catalytic gasification, durian waste, synthetic natural gas, zeolite

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan cadangan energi berupa bahan bakar minyak semakin menurun tiap tahunnya dibawah 1 juta barrel per hari, tepatnya hanya

mencapai 800.000 hingga 820.000 barrel per harinya, sedangkan konsumsi bahan bakar minyak semakin meningkat seiring tingginya mobilitas manusia. Sumber energi fosil ini lama kelamaan

akan habis dikarenakan sifatnya yang tidak terbarukan (*non-renewable*) (Sa'adah, dkk., 2017).

Pertumbuhan konsumsi energi di Indonesia cukup tinggi di dunia yaitu 7% per tahun berdasarkan data dari *Integrated Green Bussiness (IEC)*. Data menunjukkan bahwa kebutuhan energi tertinggi digunakan pada sektor industri yaitu sebesar 50%. Konsumsi energi pada sektor transportasi, rumah tangga, dan komersial masing-masing sebesar 34%, 12%, dan 4%. Pemenuhan kebutuhan energi tersebut didominasi dari bahan bakar fosil hingga 95%, yang mana 50%-nya menggunakan bahan bakar minyak (OEL, 2017). Penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus akan mengakibatkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis yang berdampak pada kelangkaan bahan bakar. Hal ini mendorong beberapa peneliti mencari sumber energi alternatif lain berupa energi terbarukan baik dalam bentuk *biofuel* maupun gas yang diperoleh dari pengolahan sampah maupun biomassa (Sa'adah, dkk., 2017).

Biomassa banyak dipilih menjadi bahan baku untuk pembuatan beberapa energi terbarukan. Biomassa disebut juga sebagai *fittomassa* dan sering kali diterjemahkan sebagai *bioresource* atau sumber daya yang diperoleh dari hayati. Basis sumber daya meliputi ratusan dan ribuan spesies tanaman, daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan dan limbah residu dan limbah industri, limbah dan kotoran hewan. Tanaman energi yang membuat perkebunan energi skala besar akan menjadi salah satu biomassa menjanjikan walaupun belum dikomersialkan pada saat ini (Wahidin, dkk., 2013).

Komposisi kimia dari biomassa antara lain terkandung lignin, selulosa, hemiselulosa, lignin, ekstrak organik dan mineral anorganik. Kandungan tersebut berpotensi untuk dikonversi menjadi beberapa produk yang memiliki ikatan karbon, salah satunya adalah *synthetic natural gas* (SNG) (Hermiati, 2019).

Kulit durian (*Durio zibethinus*) merupakan sampah biomassa hasil perkebunan. Provinsi Sumatera Selatan menghasilkan produksi durian sebanyak 56.843 ton di tahun 2018 (BPS, 2019). Hal ini juga berdampak pada sampah biji dan kulit durian yang dihasilkan. Selama ini, buah durian hanya dapat dimanfaatkan daging buahnya saja sekitar 20 - 35% dari keseluruhan bagian buah durian tersebut, sedangkan sisanya sekitar 65 - 80% berupa biji dan kulit durian yang akan menjadi sampah. Sampah kulit durian memiliki karakter yang sulit terurai di lingkungan, oleh karena itu sangat berpotensi mencemari lingkungan dan menyebabkan banjir apabila tertumpuk secara sembarangan di lingkungan (Saputra, 2013). Padahal kulit durian ini mengandung selulosa yang cukup tinggi sekitar 50% - 60%, lignin sekitar 5% serta pati yang rendah sekitar 5%. Komponen inilah yang dapat diolah menjadi bahan bakar seperti briket, *bio-oil* maupun *bio-syngas* (Prabowo, 2009).

Pengolahan biomassa menjadi bahan bakar dapat melalui proses konversi termokimia biomassa. Metode termokimia merupakan sebuah metode konversi untuk memproduksi bahan bakar dari biomassa dimana metode ini mengkonversikan biomassa secara termal (McKendry, 2002). Dengan menggunakan metode ini, biomassa dikonversi menjadi produk padat (briket), cair (*bio-oil*) maupun gas (SNG) yang dapat dimanfaatkan langsung maupun disintesis kembali menjadi beberapa senyawa lain.

Synthetic natural gas (SNG) juga dikenal dengan nama lain *substitute natural gas* (SNG). Gas yang dihasilkan berupa CH_4 , CO , CO_2 , dan H_2 yang dapat disintesis kembali menjadi beberapa produk seperti methanol, amonia maupun *dimethyl ether* (DME). Selain itu gas CH_4 juga dapat dimanfaatkan langsung menjadi bahan bakar alternatif.

Metode konversi termokimia untuk pembuatan SNG pada penelitian ini menggunakan metode gasifikasi berbantu katalis. Gasifikasi merupakan proses termokimia untuk mengkonversi bahan baku biomassa padat menjadi bahan bakar gas mampu bakar dan bahan baku gas kimia (Knoef, 2005). Proses ini terjadi di reaktor *gasifier* dengan proses pembakaran parsial atau sebagian. Biomassa yang diumpankan kedalam reaktor akan mengalami pembakaran tidak sempurna dengan adanya sedikit oksigen selama proses berlangsung (Rauch dan Herman, 2014). Hasil dari proses gasifikasi ini berupa produk gas, padat, dan cair. Umumnya kandungan dari produk gas dari proses gasifikasi yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H_2) dan metana (CH_4), gas-gas ini dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar. Produk padat berupa arang yang masih bisa dimanfaatkan untuk dijadikan briket, sedangkan produk cair berupa *tar*.

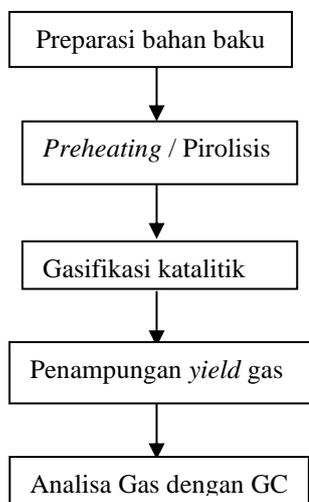
Beberapa penelitian dengan bahan baku dan temperatur gasifikasi yang berbeda-beda telah dilakukan pada proses gasifikasi biomassa menjadi *syngas*, antara lain penelitian yang dilakukan oleh Susanto (2005) mengolah sekam padi jarum dengan proses gasifikasi *downdraft* tanpa bantuan katalis dengan suhu 400 - 900 °C menjadi produk gas hasil gasifikasi berupa komposisi gas hasil gasifikasi sekam padi bentuk jarum ukuran 1 cm adalah CO 20,1 %, H_2 11,3 %, CH_4 1,8 %, N_2 55,4 %, dan panas pembakaran 435 KJ/kg. Syamsul (2019) melakukan gasifikasi ampas tebu menjadi produk *syngas* pada temperatur reaksi 500 °C dengan bantuan zeolit. Penelitian lain juga dilakukan oleh Daniyanto, dkk. (2016) dengan bahan baku ampas tebu untuk dikonversi menjadi produk *syngas* melalui proses gasifikasi pada temperatur 150 °C - 480 °C. Untuk bahan baku kulit durian sendiri belum ada penelitian yang melakukan hingga sampai ke produk gas melainkan baru sampai ke produk asap cair (Haryati, dkk., 2018).

Temperatur gasifikasi yang tinggi inilah yang menjadi permasalahan yang akan dicari solusinya dengan penggunaan katalis zeolite. Penelitian ini

bertujuan untuk mendapatkan *yield syngas* yang tinggi dengan temperatur gasifikasi yang relatif rendah pada 250 °C - 400 °C yang didukung oleh review proses gasifikasi oleh Molino, dkk. (2018).

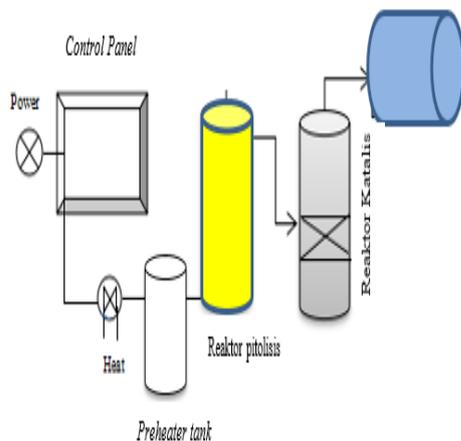
2. METODOLOGI PENELITIAN

Flowchart tahapan proses produksi syngas dari kulit durian melalui proses gasifikasi tertera pada Gambar 1. Pada *flowchart* dapat dilihat alur proses dari tahap persiapan bahan baku (*pretreatment*) serta persiapan katalis zeolit, tahap pirolisis pada *preheater chamber*, tahap gasifikasi di reaktor *gasifier*, hingga tahap penampungan produk gas, padat dan *tar* yang akan dilanjutkan dengan analisa produk gas untuk mengetahui kandungan *synthetic natural gas (SNG)*.



Gambar 1. *Flowchart* proses konversi kulit durian menjadi SNG

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi antara lain: instalasi reaktor gasifikasi katalitik terintegrasi reaktor pirolisis, *control panel*, dan tanki penampung produk. *Flowsheet* rangkaian peralatan dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. *Flowsheet* peralatan produksi SNG dari kulit durian



Gambar 3. Instalasi peralatan produksi SNG dengan proses gasifikasi katalitik

Pada Gambar 2 dan 3, umpan kulit durian yang telah dipreparasi akan masuk ke *preheater tank* untuk selanjutnya dibakar pada reaktor pirolisis dengan temperatur 250 °C, lalu gas yang dihasilkan masuk ke reaktor gasifikasi yang dilengkapi dengan *bed* katalis zeolit pada variasi temperatur 250 - 400 °C selama 10 menit dan 40 menit. Lalu, produk yang dihasilkan akan ditampung pada tanki dan media penyimpanan berupa bola. Adapun tahapan proses secara lebih rinci adalah sebagai berikut:

2.1. Tahap preparasi katalis zeolit

Zeolit basis $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebanyak 500 gram dalam bentuk bubuk diayak dengan ayakan, sehingga memiliki ukuran yaitu lolos 100 mesh. Panaskan Zeolit dicuci untuk menghilangkan pengotor dengan akuades lalu dikeringkan menggunakan oven. Kemudian zeolit dikalsinasi pada suhu 300 °C selama 3 jam dalam *furnace*.

2.2. Tahap preparasi bahan baku (*pretreatment*)

Bahan baku kulit durian berasal dari sampah di pasar Kertapati Palembang, dipotong lalu dicuci untuk menghilangkan sisa daging durian serta pengotor lain, kemudian dikeringkan dengan panas matahari.

2.3. Tahap Pemanasan awal (*Preheating*)

Kulit durian yang telah dibersihkan lalu dimasukkan ke *preheater chamber* pada suhu 250 °C, pada tahap ini berlangsung proses pirolisis.

2.4. Tahap Gasifikasi

Gas hasil pirolisis masuk ke reaktor gasifikasi dengan bantuan katalis zeolit. Temperatur reaksi divariasikan dari 250 °C, 300 °C, 350 °C dan 400 °C. Massa katalis juga digunakan yaitu 8% berat katalis.

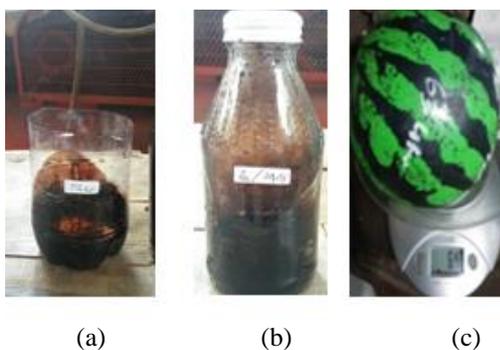
2.5. Tahap penampungan *yield* produk dan analisa

Adapun produk yang dihasilkan berupa *tar* dan padatan ditampung dengan beker gelas sedangkan gas ditampung pada kantung sample gas. Masing-masing produk di timbang beratnya untuk dihitung % berat *yield* produknya. Kemudian produk gas didalam kantung sampel gas di analisa kandungannya melalui analisa *gas chromatography* (GC) untuk mengetahui komposisi *synthetic natural gas* (SNG) yang terkandung didalam produk gas (Triantoro, dkk., 2013).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh suhu terhadap *yield* produk (gas, padat, *tar*)

Hasil proses gasifikasi berupa produk utama gas, serta produk samping berupa arang (padat) dan *tar* (*liquid*). Gambar produk arang (padat), *tar* (cair) dan gas dapat dilihat pada Gambar 3.



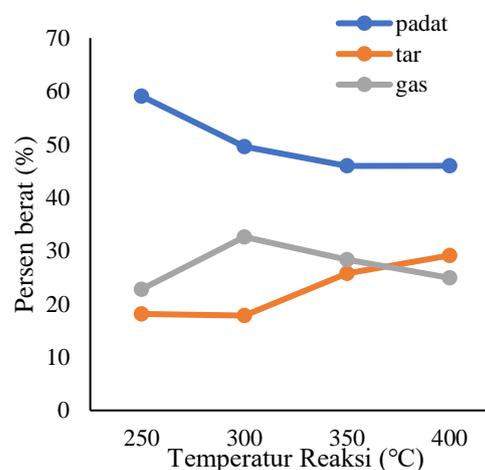
Gambar 3. Produk gasifikasi kulit durian: (a) produk arang; (b) produk *tar* (*liquid*); (c) produk gas (SNG)

Dari Gambar 3 tersebut, arang yang dihasilkan selama proses pirolisis merupakan biomassa sisa yang tak terkonversi menjadi produk gas dan *liquid*. Gas yang dihasilkan merupakan gas mampu bakar yaitu CO, CH₄, dan H₂. Produk gas juga mengandung gas CO₂ serta Ar dan N₂ sebagai gas inert. Produk gas dari proses gasifikasi dapat disebut sebagai *biogas*, *producer gas* atau *syngas*. *Tar* diasumsikan sebagai produk *liquid* yang mengandung *benzene*, *xylene*, *ethylbenzene*, naftalen dan fenol (Hantoko, dkk.,2015)

Pengaruh temperatur reaksi terhadap persen berat produk dapat dilihat dari grafik Perbandingan persen berat produk gas, *tar* dan padat dari proses gasifikasi pada Gambar 4.

Pada Gambar 4, terlihat bahwa produk padat berupa arang mengalami penurunan di setiap kenaikan temperatur. Hal ini berbanding terbalik pada produk *tar* (*liquid*) yang semakin meningkat tiap kenaikan temperatur. Peningkatan jumlah *yield*

tar liquid yang semakin meningkat serta penurunan *yield* arang yang dihasilkan seiring kenaikan temperatur ini didukung juga oleh penelitian Rahmatullah, dkk. (2019), untuk produk gas, *yield* terbanyak dihasilkan pada temperatur 300 °C.



Gambar 4. Perbandingan *yield* produk gas, padat dan *tar* hasil gasifikasi

Apabila temperatur lebih tinggi dari 300 °C, terjadi penurunan *yield* dikarenakan katalis zeolit mengalami deaktivasi pada suhu yang tinggi. *Yield* produk gas maksimal mencapai 34 % berat. Produk gas sintesis harus bebas *tar liquid* atau dalam jumlah *tar* minimum agar katalis tidak terdeaktivasi, Apabila jumlah *tar liquid* tinggi maka dapat menghalangi pori situs aktif pada zeolit, sehingga katalis zeolit tidak dapat bekerja optimal untuk menghasilkan produk gas (Hantoko, dkk., 2015). Hal ini senada dengan pendapat Molino, dkk. (2018) yang mengemukakan bahwa gasifikasi dengan *exit gas* 150 °C - 400 °C memiliki persen gas antara 20 - 60 %. Pada penelitian tersebut, *yield tar* yang dihasilkan semakin banyak seiring dengan meningkatnya suhu.

3.2. Pengaruh suhu terhadap kandungan gas pada SNG

Hasil gas dari proses gasifikasi mengandung gas CH₄, CO, CO₂ dan H₂ serta gas inert berupa N₂ dan Ar. Gas inert N₂ pada suhu 250, 300, 350 dan 400 °C masing-masing persentase adalah 3,80; 3,94; 3,38; dan 1,78. Untuk gas inert Ar pada suhu 250, 300, 350 dan 400 °C masing-masing persentase adalah 1,46; 2,08; 0,79; dan 0,64. Komposisi gas pada suhu gasifikasi 250 °C - 400 °C tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisa GC pada produk gasifikasi pada suhu 250 °C - 400 °C

Suhu (°C)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)
250	21,729	48,305	1,139	0,682
300	29,623	30,889	13,089	7,976
350	26,415	39,494	6,089	2,861
400	27,711	64,492	1,417	1,423

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa hasil terbaik untuk kandungan gas CO, CH₄ dan H₂ terbanyak diperoleh pada suhu 300 °C dengan masing-masing kandungan 29,6 % CO, 13,1 % CH₄ dan 7,9 % H₂. Kandungan CO₂ terbanyak dihasilkan pada temperatur 400 °C sebanyak 64,5 %. Konversi karbon akan menurun dengan meningkatnya suhu gasifikasi. Karbon terurai menjadi hidrogen, karbon monoksida, karbon dioksida dan metana. Produksi hidrogen meningkat pada temperatur 250 – 300 °C namun menurun perlahan pada suhu yang lebih tinggi. Fenomena ini terjadi karena pada suhu tinggi hidrogen bereaksi kembali dengan oksigen sehingga membentuk uap air (H₂O). Meningkatnya jumlah uap juga akan mempengaruhi jumlah karbon monoksida dan metana yang juga akan menurun pada suhu tinggi (Pratoto dan Slamet, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa performa katalis menghasilkan gas sintesis terbaik terjadi pada suhu 300 °C yaitu dengan semakin banyaknya gas sintesa seperti CO, CH₄ dan H₂ yang dihasilkan. Hal ini senada dengan jumlah *yield* gas terbanyak juga dihasilkan pada suhu 300 °C, sedangkan di suhu 400 °C ini terjadi pembakaran atau oksidasi yang lebih sempurna. Hal ini ditunjukkan pada pembentukan CO₂ terbanyak terjadi pada suhu 400 °C. Pada penelitian Pratoto dan Slamet (2008), gasifikasi dilakukan tanpa bantuan katalis dengan suhu yang digunakan dari temperatur 200 – 1000 °C. Produksi *producer gas* mengalami peningkatan sampai temperatur 500 °C dan mengalami penurunan pada suhu lebih tinggi. Pada penelitian ini kondisi optimum dapat digeser pada suhu yang lebih rendah yaitu 300 °C.

3.3. Specific Gasification Rate

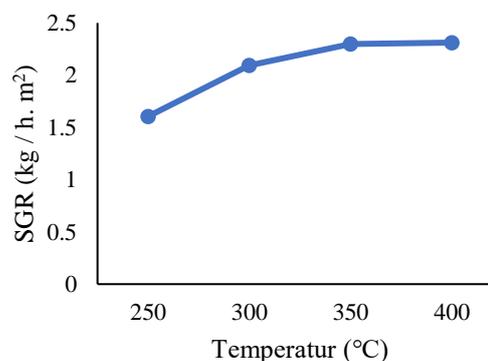
Specific gasification rate (laju gasifikasi spesifik) adalah cara untuk menentukan kecepatan gasifikasi per satuan luas reaktor. Parameter ini dapat digunakan untuk perancangan *gasifier*. Laju gasifikasi spesifik dipengaruhi oleh jumlah biomassa, ukuran reaktor dan waktu operasi gasifikasi. Semakin lama waktu operasi maka laju gasifikasi spesifik akan berkurang (Wibowo, 2014).

Specific gasification rate (SGR) menunjukkan banyaknya biomassa yang terkonversi didalam reaktor *gasifier*. *Specific gasification rate* (SGR) memiliki satuan kg h⁻¹m⁻² dapat dihitung dengan pembagian biomassa yang terkonsumsi (m_g) yang memiliki satuan (kg/s) dengan luas area gasifier (A_h) yang memiliki satuan (m²). Perhitungan tersebut tertera pada persamaan (1). Untuk menghitung biomassa yang terkonsumsi dan luas area *gasifier* dapat menggunakan persamaan (2) dan (3). *Gasifier* yang digunakan memiliki ukuran diameter 0,12 m dan tinggi 0,25 m. Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (1) - (3) didapatkan data yang tertera pada Gambar 5.

$$SGR = m_g / A_h \quad (1)$$

$$m_g = \text{berat biomassa} - \text{berat arang} \quad (2)$$

$$A_h = 2 \times \pi \times r \times (r + t) \quad (3)$$



Gambar 5. Specific Gasification Rate dengan Range temperature 250 °C - 400 °C.

Dari Gambar 5 tersebut tampak bahwa semakin tinggi suhu gasifikasi maka semakin banyak biomassa yang tergasifikasi dengan baik. Hal ini juga dapat dilihat dari jumlah arang yang semakin sedikit pada suhu yang semakin tinggi. SGR tertinggi dicapai pada suhu 400 °C dengan laju gasifikasi 2,311 kg/h.m².

4. KESIMPULAN

Proses gasifikasi dengan bantuan katalis yang menghasilkan komposisi SNG terbaik terjadi pada suhu 300 °C dengan perolehan komponen gas berupa 13,7 % CH₄, 29,6 % CO, 31 % CO₂ dan 7,9 % H₂ dengan sisanya berupa gas 13 % N₂ dan 4,8 % Ar. Komposisi ini ditinjau dari jumlah CO, CH₄ dan H₂ yang terbanyak diperoleh pada suhu 300 °C. Fenomena ini dikarenakan pada suhu tinggi terbentuk produk samping berupa *tar* yang semakin banyak, dimana katalis zeolit akan mengalami

deaktivasi dan mengurangi performa katalis membentuk SNG.

Untuk *specific gasification rate (SGR)* akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya suhu gasifikasi serta ditandai dengan menurunnya jumlah arang yang dihasilkan. Nilai SGR tertinggi dicapai pada suhu 400 °C dengan nilai 2,311 kg/h.m². Fenomena ini menunjukkan semakin tinggi suhu maka semakin banyak biomasa yang terkonversi secara termal di *gasifier*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terimakasih kepada pihak Universitas Sriwijaya dengan bantuan pendanaan PNBP Unsri. Penelitian ini terlaksana dengan biaya dari program hibah penelitian Sains dan Teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik, 2019. Pertanian dan perkebunan buah durian. <https://sumsel.bps.go.id/> (diakses pada tanggal 28 Desember 2019 jam 21.25 WIB).
- Daniyanto, A., Budiman, Sutijan, Deendarlianto., 2016. Gasifikasi ampas tebu tertorefaksi kering yang terintegrasi dengan katalis alkali dalam reaktor fixed bed dan analisis termodinamikanya. *Disertasi*. Program Doktor Ilmu Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada.
- Haryati, S., Rahmatullah., Rizka, W.P., 2018. Torrefaction of durian peel and bagasse for bio-briquette as an alternatif solid fuel. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 334(1): 012008, doi: 10.1088/1757-899X/334/1/012008
- Hantoko, D., Taniadi, S., Joko, W., Herri, S., 2015. Simulasi termodinamika perengkahan tar pada keluaran fixed bed gasifier. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*.
- Hermiati, E., 2019. Pengembangan teknologi konversi biomassa menjadi bioetanol dan bioproduk sebagai substitusi produk berbahan baku fosil. *Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Teknologi Bioproses*. LIPI. Jakarta.
- Knoef, H., 2005. Handbook biomass gasification. Btg Biomass Technology Group.
- Mckendry, P., 2002. Energi production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1): 37-46.
- Molino, A., Dino, M., Simoone, C., 2018. Biofuels production by biomass gasification: a review. *Energies*. Researchgate.
- Outlook Energi Indonesia (OEI), 2017. Clean energy technology development initiatives. Jakarta: Center for Technology of Energy Resources and Chemical Industry. Agency for the Assessment and Application of Technology.
- Prabowo, R., 2009. Pemanfaatan limbah kulit buah durian sebagai produk briket di wilayah Kecamatan Gunung Pati Kabupaten Semarang. *J. Mediagro II*, 5(1), doi: 10.31942/md.v5i1.889
- Pratoto, S., Slamet, R., 2008. Gasifikasi-uap biomassa untuk menghasilkan hidrogen-simulasi dengan model keseimbangan. *Conference Paper*. Research Gate.
- Rahmatullah., Rizka, W. P., Enggal, N., 2019. Produksi bio-oil dari limbah kulit durian dengan proses pirolisis lambat, *J. Teknik Kimia*, 25(3): 50-53, doi: <https://doi.org/10.36706/jtk.v25i2.425>
- Rauch, R., Herman H., 2014. Biomass gasification for synthesis gas production and applications of the syngas. Research Gate.
- Sa'adah, A. F., Akhmad, F., Bambang, J., 2017. Peramalan penyediaan dan konsumsi bahan bakar minyak di indonesia dengan model sistem dinamik. *J. Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 17(2): 118-137.
- Saputra, F.D., 2013. Asap cair dari kulit durian pengawet alami untuk pangan. *Media bpp.*, 12(6): 3-10.
- Susanto, H., 2005. Pengujian PLTD-gasifikasi sekam 100 KW di Haurgeulis, Indramayu. *Laporan Singkat Pengoperasian PLTD-G Sekam di Haurgeulis selama bulan September 2005*. Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung.
- Syamsul, R., 2019. Produksi synthetic gas dari proses gasifikasi limbah biomassa pabrik gula sebagai energi alternatif. *Tesis*. Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Triantoro, A., Adip, M., Riswan., 2013. Pengaruh agen gasifikasi batubara terhadap produk gas yang dihasilkan oleh batubara peringkat rendah. *Info Teknik*, 14(2).
- Wahidin, N., Nurfa, A., Martana, T., 2013. Karakteristik biobriket kulit durian sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. *J. of Agroindustrial Technology*, 23(1).
- Wibowo, W. A., 2014. Pengaruh laju alir udara terhadap kinerja kompor gasifikasi tongkol jagung. *Ekuilibrium*. 13(1): 7-10.