



## Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: [sinta.eng.unila.ac.id](http://sinta.eng.unila.ac.id)



# Pengaruh Torefaksi Terhadap Karakteristik Kulit Manggis Sebagai Bahan Bakar Padat

Hadi Prayitno\*, Amrul, Herry Wardono dan Ihsan Restu Maulana Supriatna

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung

### INFORMASI ARTIKEL

### ABSTRAK

#### Riwayat artikel:

Diterima tgl/bln/tahun

Direvisi tgl/bln/tahun

#### Kata kunci:

Bahan Bakar Padat

Energi Baru dan Terbarukan

Kulit Manggis

Torefaksi

Potensi sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dari biomassa mencapai 146,7 juta ton per tahun. Salah satu biomassa yang dioptimalkan sebagai bahan bakar padat adalah limbah kulit manggis. Karakteristik kulit manggis sebagai bahan bakar dapat ditingkatkan melalui proses konversi termal yaitu torefaksi. Torefaksi sangat dipengaruhi oleh temperatur operasi, ukuran biomassa, waktu tinggal dan jenis biomassa. Perlu adanya perlakuan awal sebelum kulit manggis ditorefaksi yaitu dikeringkan secara alami dengan panas matahari. Agar diperoleh hasil yang lebih optimal kulit manggis setelah kering dicacah terlebih dahulu dengan ukuran 10-20 mm. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan temperatur kerja proses torefaksi yaitu 250, 275 dan 300°C dengan waktu tinggal 30 menit. Torefaksi dilakukan dengan menggunakan reaktor kontinu tipe tubular sistem *oil jacket*. Sumber pemanas yang digunakan reaktor ini adalah LPG. Untuk mengetahui nilai kalor hasil torefaksi dilakukan pengujian nilai kalor dengan bomb kalorimeter. Selanjutnya dilakukan analisis *proxymate* dan *ultimate*, untuk mengetahui karakteristik kulit manggis tertorefaksi. *Mass yield* dan *energy yield* dianalisis dengan mengukur penurunan massa setelah torefaksi dan nilai kalor produk. Produk torefaksi kulit manggis memiliki nilai kalor 6876 kkal/kg pada temperatur 300°C meningkat sebesar 21,57% dari mentahnya. Setelah ditorefaksi kadar air dan zat volatil yang menurun serta persentase karbon tetap meningkat. *Mass yield* dan *energy yield* setelah ditorefaksi pada temperatur 300°C menurun sebesar 44% dan 31,93%. Kandungan oksigen dan hidrogen yang tersimpan menurun pada setiap peningkatan temperatur kerja torefaksi. Nilai kalor produk torefaksi kulit manggis pada temperatur 300°C setara dengan batubara bituminous c, terlihat dari perbandingan atom H/C dan O/C yang menurun..

\* Penulis korespondensi.

E-mail: [hadi.prayitno@eng.unila.ac.id](mailto:hadi.prayitno@eng.unila.ac.id)



## 1. Pendahuluan

Kepala Badan Geologi Kementerian ESDM, Surono mengatakan ketergantungan energi fosil terutama batubara yaitu mencapai 29 persen sedangkan cadangan batubara diperkirakan hanya cukup untuk 80 tahun yang akan mendatang. Sebagai salah satu negara yang kaya akan potensi sumber daya energi terbarukan, Indonesia sangat mampu untuk bisa terbebas dari kekhawatiran akan ketersediaan bahan bakar fosil yang kian menipis. Dengan syarat utamanya yaitu adanya pengembangan pengolahan dan teknologi yang optimal. Salah satu potensi sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang paling melimpah jumlahnya di Indonesia adalah biomassa. Potensi biomassa di Indonesia yang relatif sangat besar yaitu hingga 146,7 juta ton per tahun.

Buah manggis merupakan salah satu buah khas dari hutan hujan tropis seperti Malaysia dan termasuk Indonesia. Kulit buah manggis merupakan cangkang yang dibuang konsumen atau dapat disebut dengan limbah pertanian dengan produksi di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 303.934 ton. Kulit buah manggis dimanfaatkan sebagai zat warna hitam untuk makanan dan industri tekstil, sedangkan getah kuningnya dimanfaatkan sebagai bahan baku cat dan insektisida. Biomassa kulit manggis memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi yaitu sekitar 48,81 % serta memiliki *fixed carbon* yang lebih tinggi dibanding tempurung kelapa dan bonggol jagung. Kandungan *fixed carbon* ini menunjukkan jumlah karbon maksimum yang dapat dihasilkan dari suatu biomassa setelah proses *thermal treatment*.

Salah satu metode untuk menjadikan *waste to energy* adalah dengan proses *thermal treatment* pada biomassa yaitu dengan mengkonversi biomassa menggunakan proses torefaksi. Torefaksi atau pirolisis ringan merupakan proses *thermal treatment* pada temperatur 200-300°C pada tekanan atmosfer dalam kondisi inert atau tanpa adanya oksigen. Hasil utama dari proses torefaksi yaitu berupa padatan dan gas. Torefaksi biomassa dapat menghasilkan bahan bakar padat setara batubara *sub-bituminous*.

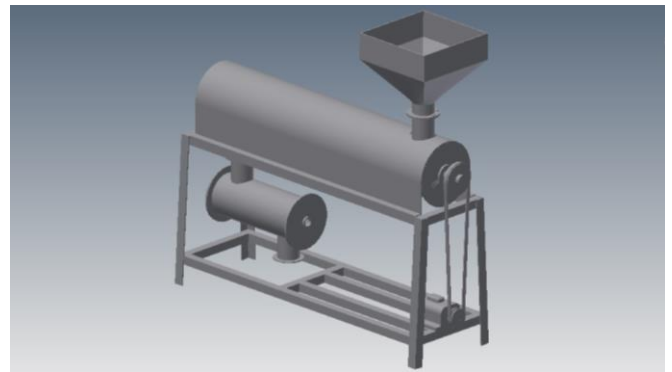
Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian torefaksi limbah kulit manggis untuk meningkatkan kualitas kulit manggis sebagai bahan bakar padat dengan menggunakan tiga variasi temperatur pengujian yang berbeda yaitu 250, 275 dan 300°C. Kulit manggis yang telah ditorefaksi dilakukan pengujian *calorific value*, nilai *proximate*, nilai *ultimate*, *mass yield* dan *energy yield* untuk mengetahui karakteristik bahan bakar padat yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan spesimen limbah kulit manggis karena keunikan dari karakteristik kulit manggis yang mendekati karakteristik batubara serta sebagai salah satu upaya

untuk mengurangi penggunaan batubara di masa mendatang.

## 2. Metodologi

### 2.1. Alat dan bahan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari reaktor tipe tubular, *thermocouple* tipe K 12 *channel temperature recorder datalogger*, pemantik api, gas LPG 12 kg beserta regulator, sarung tangan tahan panas dan timbangan digital. Spesimen yang digunakan adalah kulit manggis yang memiliki rentan ukuran 10 mm hingga 20 mm yang telah dijemur terlebih dahulu dibawah terik matahari. Dapat dilihat pada Gambar 1 merupakan gambar 3D reaktor torefaksi yang digunakan.



**Gambar 1.** Gambar 3D reaktor torefaksi kontinu tipe tubular.

### 2.2. Prosedur percobaan

Pengujian torefaksi dilakukan menggunakan reaktor kontinu tipe tubular dengan sistem *oil jacket* dan sumber pemanas LPG. Temperatur reaktor diukur menggunakan *thermocouple* yang terhubung dengan 12 *Channel Temperature Recorder Datalogger*. *Thermocouple* dipasang pada posisi material masuk (*inlet*), bagian tengah tabung reaktor (*center*), dan posisi keluar material (*outlet*). Proses awal yang diperlukan adalah menghidupkan reaktor hingga mencapai temperatur kerja yang diinginkan yaitu 250°C untuk temperatur kerja awal kemudian setelah stabil dilakukan proses *input* sampel untuk pengujian dan setelah sampel keluar maka dilakukan *input* sampel kembali dengan menggunakan variasi temperatur kerja yang berbeda yaitu 250 dan 300°C.

Mekanisme pengujian ini dilakukan dengan menguji seluruh sampel dengan memasukkan sampel secara bertahap yaitu 100 gram untuk setiap 1 menit, sehingga 300 gram untuk setiap variasi temperatur dilakukan dalam 3 kali tahap pemasukan sampel untuk mencegah terjadinya kemacetan pada *screw conveyor*. Variasi temperatur torefaksi yang digunakan yaitu

250°C, 275°C, dan 300°C serta parameter lainnya yaitu waktu tinggal (*resident time*) selama 30 menit.

### 2.3. Analisis

Setelah seluruh sampel dilakukan torefaksi dan didapatkan produk torefaksi, selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium secara bertahap dimana

sampel diaduk dan diambil secara acak pada setiap variasi temperatur. Sampel yang telah diambil kemudian dilakukan pengujian laboratorium yang meliputi sampel mentah dan sampel hasil torefaksi setiap variasi temperatur untuk dilakukan pengujian karakteristik bahan bakar padat produk torefaksi yang meliputi pengujian *proximate*, pengujian *ultimate*, dan pengujian nilai kalor serta *mass yield* dan *energy yield*.

## 3. Hasil dan pembahasan

### 3.1. Perubahan Visual dan Fisik

Sampel biomassa kulit manggis produk torefaksi mengalami perubahan visual yaitu rona wama menjadi kehitaman seperti arang. Perubahan warna pada sampel biomassa kulit manggis mengalami perubahan yang beragam sesuai dengan variasi temperatur yang digunakan. Semakin tinggi temperatur torefaksi yang diaplikasikan, maka semakin pekat warna dari produk torefaksi kulit manggis. Warna hitam paling pekat dari

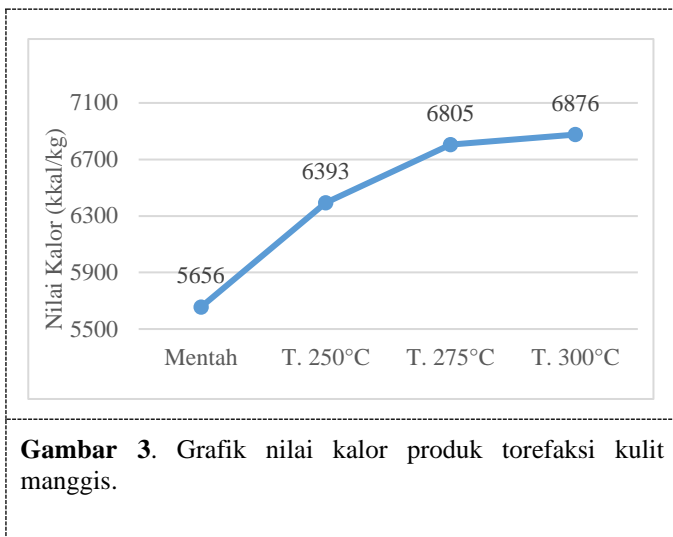
produk torefaksi kulit manggis adalah pada temperatur 300°C. Selain perubahan warna, perubahan juga terjadi pada sifat kekerasan dan keuletan dari sampel biomassa kulit manggis yang menjadi lebih rapuh setelah ditorefaksi. Hasil ini sejalan dengan pendapat bahwa proses torefaksi mengubah bentuk visual menjadi kehitaman dan menjadikan produk lebih lunak sehingga mudah untuk dihancurkan yang artinya *grindability* meningkat. Dapat dilihat pada Gambar 2. merupakan bentuk visual sampel kulit manggis.



**Gambar 2.** Bentuk dan visual sampel kulit manggis mentah serta produk kulit manggis yang ditorefaksi.

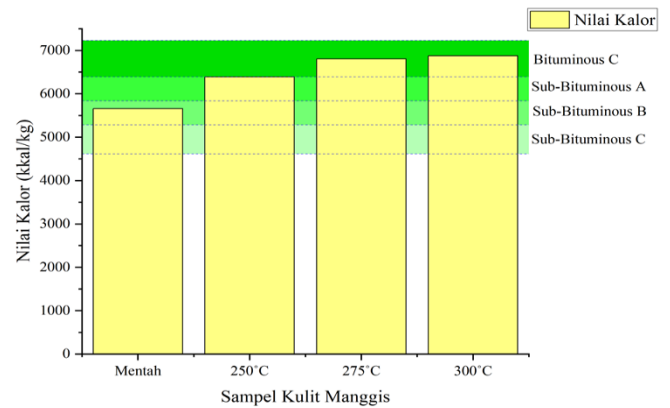
### 3.2. Nilai Kalor

Produk torefaksi biomassa kulit manggis memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibanding dengan biomassa kulit manggis mentah yang ditampilkan dalam bentuk grafik kenaikan nilai kalor biomassa kulit manggis setelah ditorefaksi pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3.** Grafik nilai kalor produk torefaksi kulit manggis.

Gambar 3. menunjukkan nilai kalor tertinggi diperoleh dari produk torefaksi kulit manggis pada temperatur 300°C sebesar 6.876 kkal/kg. Peningkatan nilai kalor produk torefaksi yang signifikan terjadi pada temperatur 250°C menuju temperatur 275°C dengan selisih sebesar 412 kkal/kg. Peningkatan nilai kalor pada kulit manggis mentah hingga nilai kalor produk torefaksi pada temperatur 300°C secara berturut turut terjadi kenaikan yaitu 13,03% pada temperatur 250°C, kemudian terjadi kenaikan nilai kalor sebesar 20,31% pada temperatur 275°C dan kembali meningkat menjadi sebesar 21,57%. pada temperatur 300°C. Berdasarkan klasifikasi ASTM D-388, produk torefaksi pada temperatur 300°C setara dengan batubara *bituminous c*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini merupakan plot klasifikasi nilai kalor produk torefaksi kulit manggis.

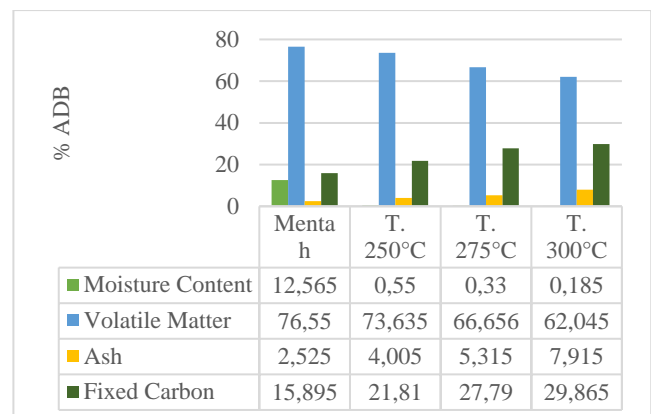


**Gambar 4.** Plot klasifikasi nilai kalor produk torefaksi kulit manggis.

Gambar 4 menunjukkan produk torefaksi kulit manggis dengan temperatur 275 °C dan 300 °C masuk dalam klasifikasi batubara *bituminous c* dengan nilai kalor pada temperatur 275 °C sebesar 6805 kkal/kg dan pada temperatur 300 °C sebesar 6876 kkal/kg. Untuk temperatur 250 °C masuk dalam golongan batubara sub-bituminous a dengan nilai kalor sebesar 6393 kkal/kg.

### 3.3. Pengujian Proximate

Pengujian proximate dilakukan untuk mengetahui karakteristik suatu bahan bakar padat dengan mengidentifikasi beberapa parameter ukuran kualitas suatu bahan bakar padat yang terdiri dari kadar air (moisture content), kandungan zat volatil (volatile matter), kadar abu (ash) dan karbon tetap (fixed carbon). Hasil pengujian ini ditunjukkan dalam bentuk diagram dalam Gambar 5 di bawah ini.



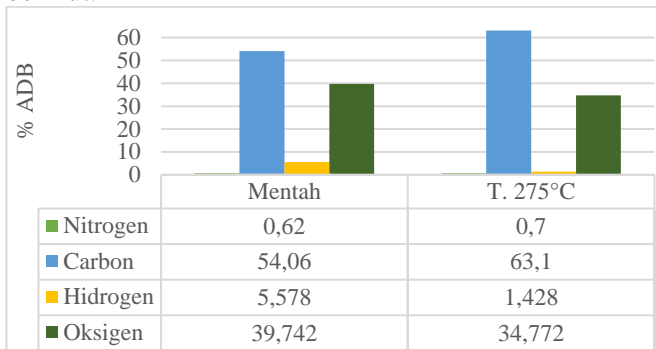
**Gambar 5.** Hasil uji proximate produk torefaksi kulit manggis.

Gambar 5. merupakan hasil uji proximate menunjukkan persentase kandungan *fixed carbon* tertinggi pada temperatur 300°C yakni sebesar

29,865% dan terendah pada sampel mentah sebesar 15,895%. Sedangkan persentase kandungan *volatile matter* menurun mencapai 62,045% pada temperatur 300°C dibandingkan dengan sampel mentah sebesar 76,55%. Proses torefaksi mampu mengurangi kandungan air dari sampel mentah dari 12,565% sampai dengan 0,185% seiring dengan kenaikan temperatur torefaksi. Sedangkan kadar abu setelah dilakukan torefaksi tersisa kadar abu yang relatif kecil antara 2,525% sampai dengan 7,915%. Proses torefaksi biomassa kulit manggis menghasilkan produk bahan bakar padat yang memiliki kadar air dan kadar zat volatil yang rendah dengan nilai kalor yang meningkat.

3.4. Pengujian Ultimate

Hasil uji *ultimate* digunakan untuk mengidentifikasi kandungan unsur-unsur pentusun bahan bakar padat dengan menampilkan hasilnya dalam bentuk persentase. Dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.

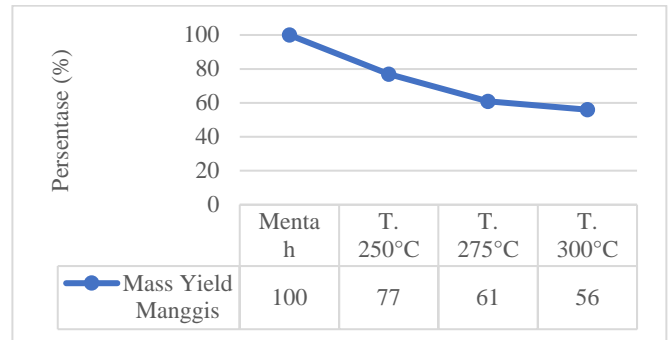


Gambar 6. Hasil uji *ultimate* torefaksi kulit manggis.

Gambar 6. menunjukkan hasil uji *ultimate* torefaksi kulit manggis dengan variasi temperatur. Komponen penyusun dari uji *ultimate* terdiri dari Karbon (C), Hidrogen (H), Nitrogen (N) dan Oksigen (O). Persentase perbandingan komponen penyusun sampel mentah biomassa kulit manggis adalah persentase C>O>H>N, begitu juga dengan produk torefaksi biomassa kulit manggis memiliki persentase C>O>H>N. Meskipun persentase C>O>H>N, komponen penyusun biomassa ini tidak sama melainkan mengalami penurunan dan juga kenaikan persentase. Persentase C dan N mengalami peningkatan sedangkan H dan O mengalami penurunan persentase. Sehingga torefaksi ini dapat meningkatkan karakteristik bahan bakar padat produk torefaksi kulit manggis. Persentase kadar karbon mentah 54,06% mengalami peningkatan sebesar 9,04% setelah ditorefaksi pada temperatur 275°C yaitu menjadi 63,1%. Komponen O mengalami kebalikan dari karbon yakni mengalami penurunan dari sampel mentah sebesar 39,742% menjadi 34,772% setelah ditorefaksi pada temperatur 275°C. Komponen H mengalami penurunan yang cenderung sama dengan penurunan O. Hal ini disebabkan karena zat-zat volatil mengalami efek perpecahan rantai dan oksigen mengalami oksidasi.

3.5. Mass Yield

*Mass yield* merupakan perolehan massa yang tersisa dalam produk torefaksi. Perolehan *mass yield* ditampilkan dalam bentuk diagram seperti Gambar 7 di bawah ini.

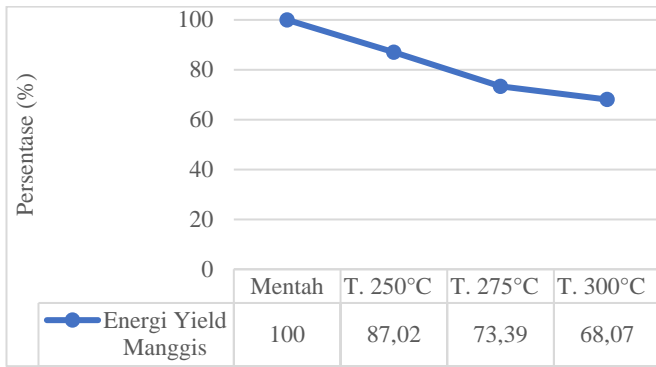


Gambar 7. perolehan massa (*mass yield*) torefaksi kulit manggis.

Gambar 7. menunjukkan produk torefaksi kulit manggis masih tersisa 56% sampai 77%. Ketika temperatur proses torefaksi meningkat dari 250°C sampai 300°C perolehan massa mengalami penurunan secara drastis mencapai 56%. Semakin temperatur torefaksi meningkat maka perolehan massa akan semakin menurun. Perolehan massa (*mass yield*) diperoleh karena degradasi termal yang menyebabkan turunnya kadar air, zat volatil dan terjadinya dekomposisi senyawa lignoselulosa pada suhu yang lebih tinggi.

3.6. Energy Yield

*Energy yield* merupakan fraksi energi dari produk torefaksi dengan biomassa mentah, yang diperoleh dengan menghitung rasio perbandingan nilai kalor produk torefaksi dengan nilai kalor mentahnya dikalikan dengan perolehan massa produk dan dibuat dalam bentuk persentase. Dapat dilihat pada Gambar 6 merupakan grafik perolehan energi (*energy yield*) produk torefaksi kulit manggis.



**Gambar 8.** Perolehan energi (*energy yield*) torefaksi kulit manggis

Gambar 8. menunjukkan perolehan energi (*energy yield*) pada produk torefaksi kulit manggis. Produk torefaksi kulit manggis masih tersimpan perolehan energi 68,07% sampai dengan 87,02%. Penurunan perolehan energi sampel biomassa kulit manggis antara 13,63% hingga 5, 32%. Penurunan drastis mencapai 13,63% terjadi pada temperatur 275°C. Hasil ini dipengaruhi semakin meningkatnya temperatur torefaksi maka perolehan massa akan mengalami penurunan sehingga kandungan energi atau perolehan energi juga akan mengalami penurunan.

3.7. Rasio O/C dan H/C

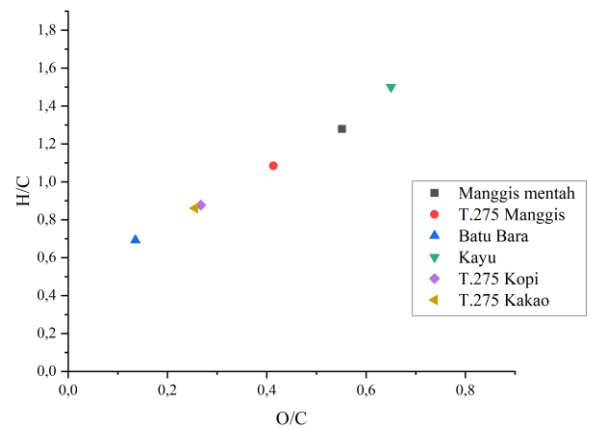
Hasil analisis dari proses torefaksi biomassa kulit manggis pada kondisi mentah dan pada kondisi setelah dilakukan torefaksi pada salah satu variasi temperatur, yaitu temperatur 275°C menunjukkan bahwa rasio O/C dan H/C mengalami penurunan. Dapat dilihat pada Tabel 1. merupakan rasio O/C dan H/C kulit manggis mentah dan produk torefaksi.

**Tabel 1.** Rasio O/C dan H/C

Sampel Kulit Manggis	O/C	H/C
Mentah	0,551	1,279
Torefaksi T. 275°C	0,413	1,084

Dari Tabel 1 dapat dilihat torefaksi biomassa kulit manggis pada kondisi mentah dan pada kondisi setelah dilakukan torefaksi pada temperatur 275°C menunjukkan bahwa rasio O/C dan H/C mengalami penurunan. Untuk rasio O/C dari kondisi mentah ke kondisi torefaksi temperatur 275°C terjadi penurun yaitu sebesar 0,138 sedangkan rasio H/C terjadi penurunan sebesar 0,195. Penurunan kedua rasio ini memberikan keuntungan karena nilai kalor dan kualitas bahan bakar mengalami peningkatan, atom H dan O

banyak terdapat dalam senyawa hemiselulosa sehingga ketika persentase H dan O dari produk torefaksi menurun maka menandakan bahwa kandungan hemiselulosa dari produk torefaksi terdegradasi sehingga nilai kalor biomassa kulit manggis akan meningkat. Dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini merupakan plot rasio O/C dan H/C produk torefaksi kulit manggis dalam diagram *van krevelen*.



**Gambar 9.** Diagram *van krevelen* untuk produk torefaksi kulit manggis.

Gambar 9. merupakan rasio O/C dan H/C dari produk torefaksi kulit manggis dan manggis mentah yang dibandingkan dengan biomassa kayu, produk torefaksi kulit kopi, kulit kakako dan batubara. Untuk Biomassa kulit manggis memiliki rasio O/C sebesar 0,551 dengan rasio H/C yaitu sebesar 1,279 sehingga kulit manggis ini berada di zona biomassa. Kemudian untuk kulit manggis yang ditorefaksi pada temperatur 275 °C memiliki rasio O/C sebesar 0,413 dan rasio H/C yaitu sebesar 1,084 sehingga produk torefaksi kulit manggis ini memiliki rasio O/C dan H/C yang mendekati batubara

4. Kesimpulan

Torefaksi kulit manggis pada temperatur 250, 275 dan 300°C dapat meningkatkan karakteristik bahan bakar padat produk torefaksi kulit manggis yang ditunjukkan dengan meningkatnya nilai kalor, persentase *fixed carbon* meningkat, *mass yield* dan *energy yield* yang menurun serta menurunnya persentase zat volatil dan kadar air. Parameter lainnya yaitu hasil uji ultimate dimana persentase O dan H menurun, C dan N meningkat sehingga menjadikan rasio O/C dan H/C menurun pada produk torefaksi. Nilai kalor produk torefaksi kulit manggis temperatur 300 °C setara dengan batubara *bituminous c*

**Daftar Pustaka**

- Amrul, Apriyanto, A., Sanjaya, I., & Amrizal. (2018). Experimental Study on Waste Biomass Torrefaction Using a Continuous Tubular Reactor. *PROSIDING Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin 2018 - SNTTM XVII*, 304–309.
- Apriyanto, A. (2020). Torefaksi Kontinu Munciple Solid Waste (Msw) Pada Screw Conveyor Reaktor Dengan Sistem Pemanas Heat Transfer Oil. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 5(1), 35–44. <https://doi.org/10.24967/teksis.v5i1.705>.
- Meichika. (2020). *Strategi Pemerintah Indonesia Dalam Upaya Mengatasi Ketergantungan Terhadap Bahan Bakar Fosil*. 39–55.
- Mukti, N. I. F., Prasetyo, I., & Mindaryani, A. (2015). Preparasi Karbon Teremban Oksida Cobalt Dari Limbah Kulit Manggis Sebagai Adsorben Penjerap Etilen Untuk Pengawetan Buah. *Reaktor*, 15(3), 165. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.3.165-174>.
- Nofriati, D., Novalinda, D., & Herwenita. (2009). Prospek Pemanfaatan Kulit Buah Manggis Menjadi Minuman Herbal Sebagai Upaya Meningkatkan Nilai Tambah Produk (Studi Kasus di Provinsi Jambi). *Jurnal BPTP Jambi*, 1–7.
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88–92. <https://www.dosenpendidikan>.