

# Pengaruh Variasi *Setting* Temperatur Menggunakan Sistem Kontrol pada Zona Oksidasi Parsial Terhadap Kandungan Tar, *Ash*, dan *Carbon Reaction Rate*

Erio Daniel Damanik dan Bambang Sudarmanta

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya

*e-mail*: sudarmanta@me.its.ac.id

**Abstrak**—Indonesia termasuk kedalam salah satu negara yang memiliki jumlah penduduk yang tinggi dan kemungkinan akan terus meningkat. Peningkatan jumlah penduduk ini juga disertai dengan konsumsi energi yang tiap tahun akan terus meningkat. Perkembangan teknologi memungkinkan untuk mengolah limbah kelapa sawit sebagai sumber energi terbarukan. Limbah kelapa sawit dapat digunakan sebagai sumber biomassa sebagai penghasil energi. Gasifikasi adalah salah satu proses yang digunakan dalam proses mengkonversi limbah kelapa sawit menjadi energi. Gasifier downdraft yang dilengkapi dengan sistem pengendali suhu bertujuan untuk menjaga agar proses gasifikasi dapat berlangsung lebih lama dan lebih bersifat kontinyu. Suhu adalah salah satu parameter penting selama berlangsungnya proses gasifikasi karena jumlah dan komposisi dari gas serta kandungan ash dan tar yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh suhu. Oleh karena itu settingan suhu yang diberikan dengan tambahan pengendali suhu sangat penting untuk melihat pengaruh reaksi yang terjadi, performa gasifikasi, serta kandungan dari hasil proses gasifikasi. Variasi settingan suhu yang dilakukan dengan mengatur pada suhu berapa penelitian akan dilakukan kemudian sistem pengendali suhu akan dipasang pada reaktor. Variasi settingan yang dilakukan pada temperatur 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, dan 1000°C. Eksperimen ini dilakukan dengan penambahan tiga tingkat masukan udara ke zona pirolisis, oksidasi, dan reduksi disertai dengan penambahan sistem kontrol yang berfungsi untuk mengatur agar temperatur pada tiap-tiap zona yang ada dapat dikendalikan sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Biomassa yang digunakan pada penelitian kali ini adalah pelepah kelapa sawit yang dibentuk menjadi pelet. kandungan tar tertinggi pada set point 600°C sebesar 259.59 Nm<sup>3</sup> dan kandungan tar terendah pada set point 1000°C sebesar 60.95 Nm<sup>3</sup>. Nilai karbon pelet yang dikonversikan ke dalam syngas terendah pada set point 600°C sebesar 59.66% dan nilai karbon pelet yang dikonversikan ke dalam syngas tertinggi pada set point 1000°C sebesar 76.89%. Nilai massa abu tertinggi pada set point 600°C sebesar 145.03 gr dan nilai massa abu terendah pada set point 1000°C sebesar 71.39gr.

**Kata Kunci**—Biomassa, *Downdraft Gasifier*, Pelepah Kelapa Sawit, Gasifikasi, Sistem Kontrol.

## I. PENDAHULUAN

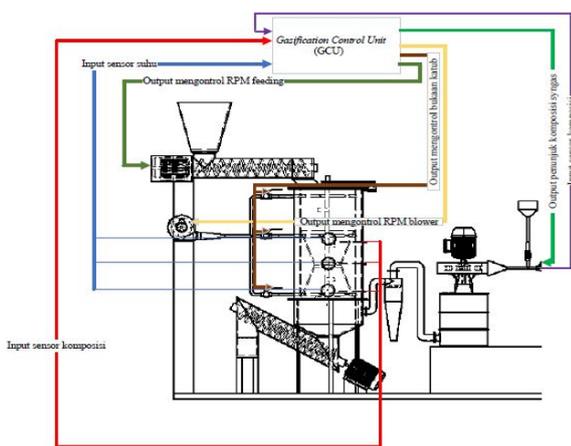
SEBAGAI salah satu negara yang cukup pesat pertumbuhan ekonomi dan populasi penduduknya secara tidak langsung berdampak pada meningkatnya konsumsi energi. Kegiatan dan aktivitas yang dilakukan masyarakat

Tabel 1.  
Properties Biomassa Briket Pelepah Kepala Sawit

Parameter	Nilai
<b>Ultimate Analysis (%)</b>	
• Carbon	44,58
• Hydrogen	4,53
• Nitrogen	0,71
• Sulphur	0,07
• Oxygen	48,80
• HHV (MJ/kg)	17,28
<b>Proximate Analysis (%)</b>	
• Ash	4,50
• Volatile Matter	79,34
• Fixed Carbon	8,36
• Moisture	7,8

Indonesia sehari-hari sangat berhubungan dengan energi. Energi yang digunakan untuk membantu kegiatan dan aktivitas masyarakat Indonesia cukup bervariasi. Salah satu konsumsi energi yang digunakan oleh masyarakat Indonesia adalah minyak bumi. Berdasarkan dengan Perpres No 5/2006 tentang bauran energi primer nasional 2025, pemerintah Indonesia memiliki sasaran bahwa penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) seperti, Panas bumi, *Biofuel*, Biomassa, dll haruslah mencapai 17% sedangkan selama ini pemanfaatan biomassa sebagai salah satu sumber energi terbarukan di Indonesia baru sekitar 4%.

Salah satu pemanfaatan yang dapat dilakukan berasal dari kelapa sawit. Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Tanaman dan Perkebunan, Kementerian Pertanian pada tahun 2018, total area kelapa sawit Indonesia seluas 14,3 juta Ha. Menurut catatan Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI), potensi produksi biomassa dari industri sawit Indonesia mencapai sekitar 182 juta ton bahan kering. Biomassa yang berasal dari limbah kelapa sawit ini dapat dimanfaatkan dan diolah, salah satunya dengan menggunakan teknologi konversi gasifikasi. Gasifikasi merupakan perubahan bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar seperti, CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>. Menurut sulaiman (2009) gasifikasi merupakan salah satu alternatif dalam rangka program penghematan dan diversifikasi energi. Proses gasifikasi menghasilkan produk bahan bakar cair yang bersih dan efisien dari pada pembakaran langsung, yaitu hidrogen dan karbon monoksida.



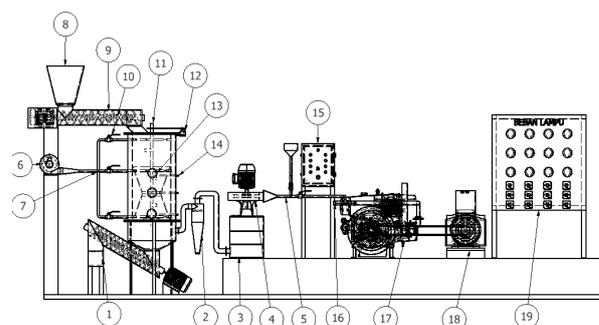
Gambar 1. Skema GCU pada Gasifier

Berdasarkan uraian yang ada, maka dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi *setting* temperatur menggunakan sistem kontrol pada zona oksidasi parsial terhadap kandungan tar, ash, dan *carbon reation rate*. Masukkan udara secara *multi stage*, dimana AR yang digunakan pada penelitian kali ini ada sebesar, 1:7:2, dengan masing-masing pada zona pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Pada penelitian kali ini terdapat penambahan sistem kontrol yang bertujuan mengatur kecepatan putaran *blower* agar temperatur yang dihasilkan tetap stabil dan proses gasifikasi yang dilakukan tetap bersifat kontinu [1]. Variasi temperatur yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah sebesar, 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, dan 1000°C. Serta parameter yang diperhatikan adalah kandungan ash, tar, dan *carbon reaction rate*.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mengetahui kualitas dan kuantitas syngas serta kandungan tar, ash, dan nilai *carbon reaction rate* yang dihasilkan dari proses gasifikasi dengan reaktor tipe *downdraft* dengan biomassa pelepah kelapa sawit yang dibentuk menjadi berupa pelet. Penelitian ini dilakukan dengan cara upaya pengendalian temperatur pada zona oksidasi parsial dengan variasi *set point* 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, 1000°C dengan tujuan mengetahui variasi settingan temperatur terhadap unjuk kerja reaktor gasifikasi yang digunakan pada penelitian.

Penelitian ini dimulai dengan pembuatan pelet kelapa sawit dan perancangan sistem pengendali suhu atau GCU (*Gasification Control Unit*). Pada pembuatan pelet pelepah kelapa sawit dimuali dengan pencacahan menggunakan mesin *crusher* yang bertujuan untuk mendapatkan hasil pelepah kelapa sawit dalam bentuk halus seperti serbuk. Setelah itu dilakukan penyaringan untuk mendapatkan hasil yang lebih halus lagi. Setelah didapatkan hasil yang paling halus maka dapat dicampurkan dengan air, dimana air berfungsi sebagai perekat agar dapat merekatkan serbuk pelepah yang sudah halus. Kemudian campuran serbuk dan air dapat dimasukkan kedalam mesin pembuat pelet, dan selama proses pengerjaan dilakukan pengulangan untuk mendapatkan hasil pelet yang baik. Hasil pelet yang sudah terbentuk dapat dijemur dibawah terik matahari selama 2-3 hari guna menghilangkan kandungan air yang terdapat pada pelet, kemudian setelah kering dapat dilakukan uji *proximate*



Gambar 2. Rangkaian alat penelitian (1) Ash box (2) Cyclone (3) Dry filter (4) Induct fan (5) Pipa aliran syngas (6) Mesin Blower (7) Saluran intake dari blower (8) Masukkan feeding (9) Screw feeding (10) Valve intake (11) Pengaduk (12) Motor pengaduk (13) Thermocouple (14) Sensor komposisi (15) Panel box (16) Venturi (17) Motor diesel (18) Generator (19) Beban lampu

dan *ultimate*. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Perancangan sitem pengendali temperatur, GCU bekerja dengan PID, dimana saat temperatur yang dibaca akan mendekati *set point* maka kecepatan *blower* akan berkurang perlahan-lahan. Pada saat temperatur yang dibaca memiliki nilai yang sama dengan temperatur *set point* maka *blower* akan memiliki kecepatan yang paling rendah. Adapun skema perancangan GCU terhadap *gasifier* dapat dilihat pada Gambar 1.

Biomassa yang sudah dibentuk menjadi pelet selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan bakar pada proses gasifikasi dan GCU yang sudah dipasang pada *gasifier* dapat digunakan sebagai pengatur kecepatan putaran *blower*. Biomassa dimasukkan kedalam reaktor kemudian dapat dilakukan pembakaran sampai *syngas* dihasilkan dan *syngas* yang dihasilkan stabil dalam waktu tertentu. Rangkaian percobaan ditunjukkan pada Gambar 2.

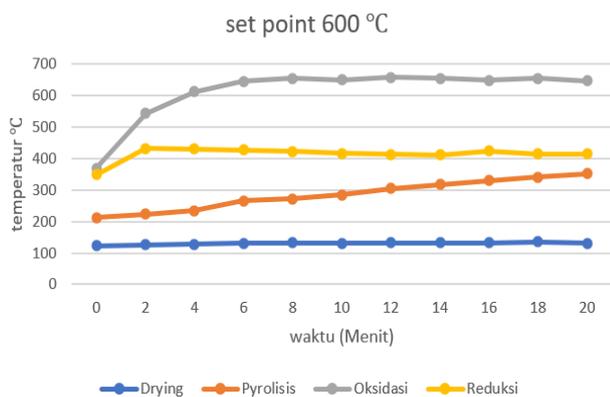
## III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Performa dari sebuah reaktor gasifikasi dapat dilihat dengan beberapa parameter yaitu, distribusi suhu, kandungan tar, kandungan ash, dan nilai *carbon reaction rate*.

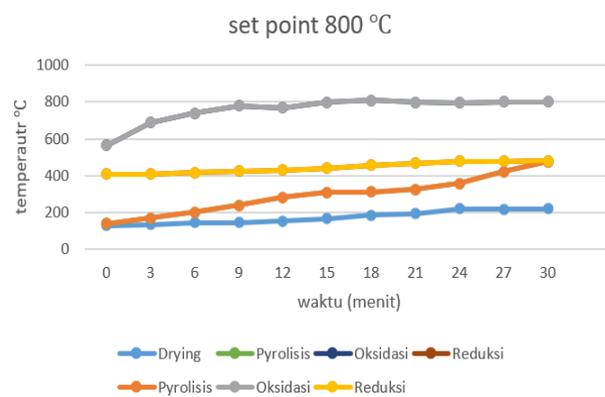
### A. Distribusi Suhu

Pada penelitian ini dilakukan proses gasifikasi pada pelet pelepah kelapa sawit dengan melakukan variasi settingan temperatur dengan mengontrol kecepatan putaran *blower* dengan menggunakan *Gasification Control Unit*. Settingan temperatur dilakukan pada 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, dan 1000°C. Data dan distribusi temperatur gasifikasi hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

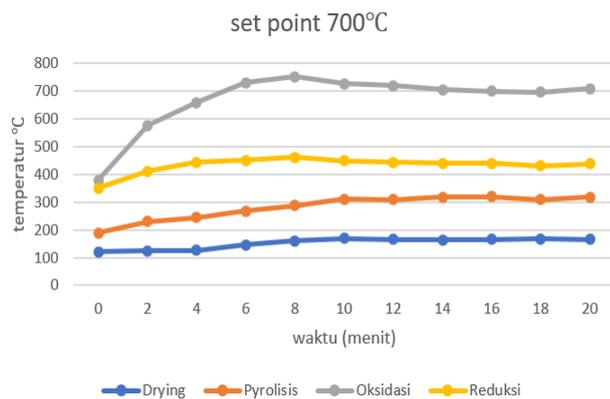
Pada *set point* temperatur 600°C pada zona oksidasi temperatur naik seiring dengan berjalannya waktu, pada saat akan mencapai *set point* 600°C kecepatan *blower* semakin menurun, hal ini bertujuan untuk mengurangi laju aliran udara yang masuk sehingga temperatur pada zona oksidasi diharapkan dapat stabil pada kisaran 600°C. Pada saat zona oksidasi mencapai temperatur sekitar 600°C *blower* akan berputar pada kecepatan yang paling rendah sehingga laju aliran udara yang masuk akan semakin berkurang. Temperatur pada zona *drying* terlihat memiliki *trendline* yang lurus atau konstan dari menit ke 0-20.



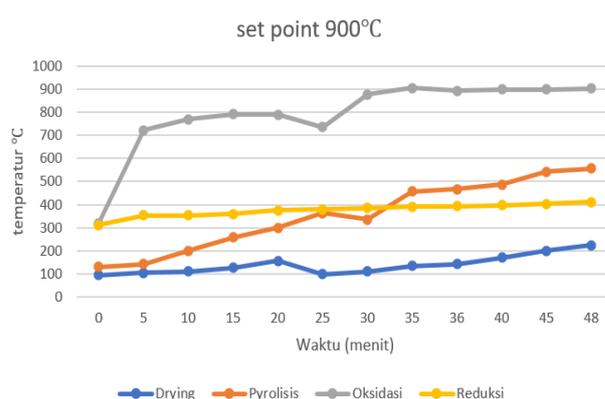
Gambar 3. Distribusi suhu gasifikasi dengan *set point* 600°C



Gambar 5. Distribusi suhu gasifikasi dengan *set point* 800°C



Gambar 4. Distribusi suhu gasifikasi dengan *set point* 700°C



Gambar 6. Distribusi suhu gasifikasi dengan *set point* 900°C

Dimana pada zona *drying* nilai temperaturnya sekitar 120°C – 130 °C, kemudian pada zona *pyrolysis* terlihat terus mengalami kenaikan nilai dari menit ke 0 – 20, nilai kenaikannya mulai dari sekitar 213°C – 351°C. Zona reduksi terlihat memiliki *trendline* yang lurus mulai dari menit 2 – 20 dengan temperatur sekitar 410°C – 430°C.

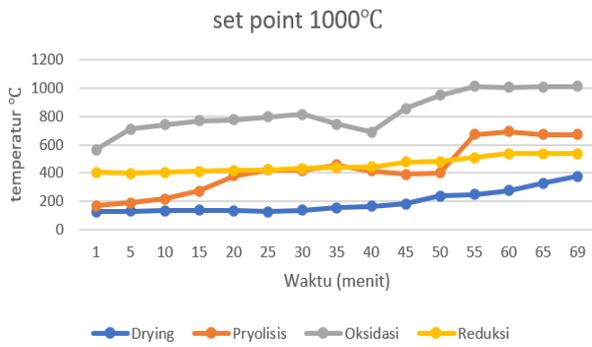
Pada *set point* temperatur 700°C pada zona oksidasi temperatur naik seiring dengan berjalannya waktu, pada saat akan mencapai *set point* 700°C kecepatan *blower* semakin menurun, hal ini bertujuan untuk mengurangi laju aliran udara yang masuk sehingga temperatur pada zona oksidasi diharapkan dapat stabil pada kisaran 700°C. Pada saat zona oksidasi mencapai temperatur sekitar 700°C *blower* akan berputar pada kecepatan yang paling rendah sehingga laju aliran udara yang masuk akan semakin berkurang. Temperatur pada zona *drying* terlihat memiliki *trendline* yang lurus atau konstan dari menit ke 0 – 20. Dimana pada zona *drying* nilai temperaturnya sekitar 130°C – 160°C, kemudian pada zona *pyrolysis* terlihat mengalami kenaikan nilai dari menit ke 0 – 20, nilai kenaikannya mulai dari sekitar 190°C – 318°C. Zona reduksi terlihat memiliki nilai yang berubah mulai dari menit 1 – 20 dengan temperatur sekitar 350°C – 437°C.

Pada *set point* temperatur 800°C pada zona oksidasi temperatur naik seiring dengan berjalannya waktu, pada saat akan mencapai *set point* 800°C kecepatan *blower* semakin menurun, hal ini bertujuan untuk mengurangi laju aliran udara yang masuk sehingga temperatur pada zona oksidasi diharapkan dapat stabil pada kisaran 800°C. Pada saat zona oksidasi mencapai temperatur sekitar 800°C *blower* akan berputar pada kecepatan yang paling rendah sehingga laju aliran udara yang masuk akan semakin berkurang.

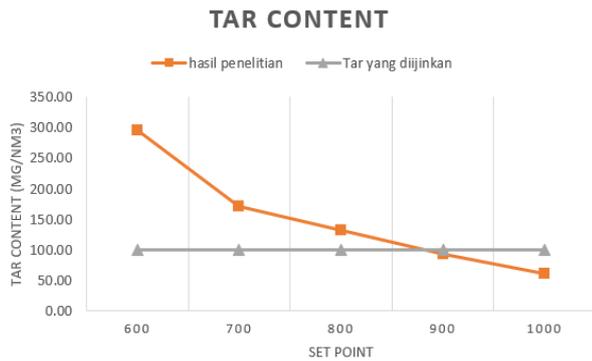
Temperatur pada zona *drying* terlihat mengalami kenaikan dari menit ke 0 – 31. Dimana pada zona *drying* nilai temperaturnya sekitar 130°C – 220°C, kemudian pada zona *pyrolysis* terlihat mengalami kenaikan nilai dari menit ke 0 – 31, nilai kenaikannya mulai dari sekitar 140°C – 490°C. Zona reduksi terlihat mengalami kenaikan yang sedikit dibandingkan dengan zona-zona yang lain yaitu dengan temperatur sekitar 410°C – 480°C.

Pada *set point* temperatur 900°C pada zona oksidasi temperatur naik seiring dengan berjalannya waktu, namun pada menit ke 13-23 temperatur tidak mengalami kenaikan melainkan tetap bertahan pada nilai sekitar 790°C-810°C, sedangkan *blower* masih berputar dengan *duty cycle* sebesar 100%. Sehingga diasumsikan bahwa biomassa pada reaktor telah habis dan perlu dilakukannya *feeding* agar proses *setting point* dapat mencapai temperatur 900°C. Saat dilakukan *feeding* terlihat bahwa temperatur sempat menurun hingga mencapai temperatur sekitar 692°C, kejadian ini merupakan hal yang wajar karena pada saat *feeding* kecepatan *blower* diturunkan guna menghindari kepulan asap yang keluar dari tempat pemasukan biomassa. Setelah selesai melakukan *feeding set point* kembali diatur menjadi 900°C dan terlihat bahwa temperatur terus mengalami kenaikan hingga mencapai temperatur 900°C.

Temperatur pada zona reduksi terlihat mengalami sedikit kenaikan dari menit ke 0-48 dengan kenaikan dari 312°C-410°C. Kemudian pada zona *drying* temperatur tergolong stabil sampai menit ke 12 dan kemudian mengalami kenaikan hingga menit 23 dan pada saat dilakukan *feeding* terlihat temperatur *drying* mengalami penurunan dengan nilai sebesar 100°C, kemudian setelah *feeding* selesai dan *set point* kembali diatur temperatur kembali mengalami kenaikan



Gambar 7. Distribusi suhu gasifikasi dengan set point 1000°C

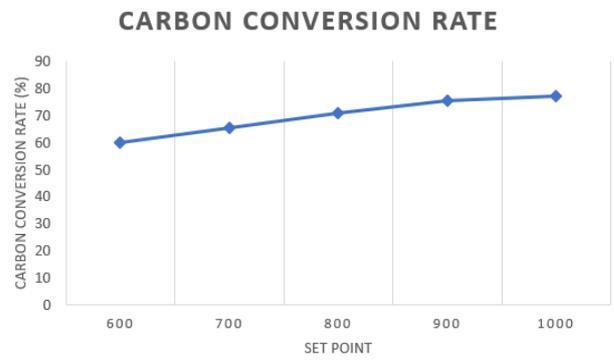


Gambar 8. Grafik Set Point temperatur terhadap Tar Content

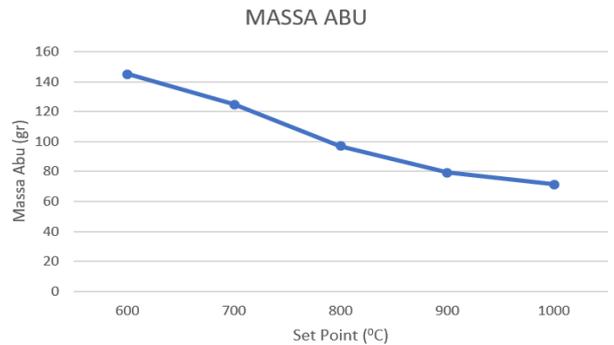
hingga menit 48 dengan nilai akhir sebesar 223<sup>0</sup>C. Pada zona *pyrolysis* temperatur mengalami perubahan nilai yang fluktuatif mulai dari menit ke 0 sampai menit ke 48. Kemudian pada saat mencapai menit 32 temperatur *pyrolysis* melewati temperatur zona reduksi, hal ini terjadi bertujuan untuk mengurangi jumlah tar yang terbentuk pada saat proses pembakaran dan hal ini diperlukan guna mengurangi kandungan tar yang terdapat pada *syngas* yang dihasilkan.

Pada set point temperatur 1000<sup>0</sup>C pada zona oksidasi temperatur naik seiring dengan berjalannya waktu, namun pada menit ke 13-29 temperatur tidak mengalami kenaikan melainkan tetap bertahan pada nilai sekitar 770<sup>0</sup>C-810<sup>0</sup>C, sedangkan *blower* masih berputar dengan *duty cycle* sebesar 100%. Sehingga diasumsikan bahwa biomassa pada reaktor telah habis dan perlu dilakukannya *feeding* agar proses *setting point* dapat mencapai temperatur 1000<sup>0</sup>C. Saat dilakukan *feeding* terlihat bahwa temperatur sempat menurun hingga mencapai temperatur sekitar 6882<sup>0</sup>C, kejadian ini merupakan hal yang wajar karena pada saat *feeding* kecepatan *blower* diturunkan guna menghindari kepulan asap yang keluar dari tempat pemasukan biomassa. Setelah selesai melakukan *feeding set point* kembali diatur menjadi 1000<sup>0</sup>C dan terlihat bahwa temperatur terus mengalami kenaikan hingga mencapai temperatur 1000<sup>0</sup>C.

Temperatur pada zona reduksi terlihat mengalami sedikit kenaikan dari menit ke 0-68 dengan kenaikan dari 405<sup>0</sup>C-537<sup>0</sup>C. Kemudian pada zona *drying* temperatur tergolong stabil sampai menit ke 19 dan kemudian mengalami penurunan hingga menit 48 dan pada saat dilakukan *feeding* terlihat temperatur *drying* terlihat stabil, kemudian pada menit ke 49 temperatur mengalami kenaikan hingga menit ke 68 dengan nilai akhir sebesar 377<sup>0</sup>C. Pada zona *pyrolysis* temperatur mengalami perubahan nilai yang fluktuatif mulai dari menit ke 0 sampai menit ke 68. Kemudian pada saat mencapai menit 30 temperatur *pyrolysis* melewati temperatur



Gambar 9. Grafik Set Point temperatur terhadap carbon conversion rate

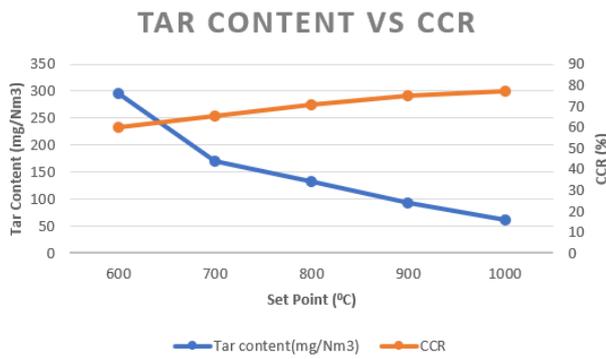


Gambar 10. Grafik hasil massa abu (gr)

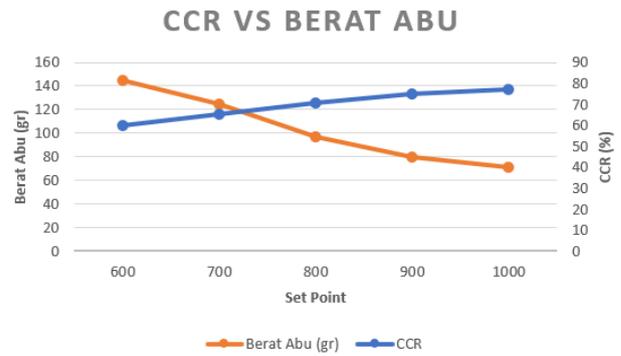
zona reduksi, hal ini terjadi bertujuan untuk mengurangi jumlah tar yang terbentuk pada saat proses pembakaran dan hal ini diperlukan guna mengurangi kandungan tar yang terdapat pada *syngas* yang dihasilkan.

B. Analisa Kandungan Tar

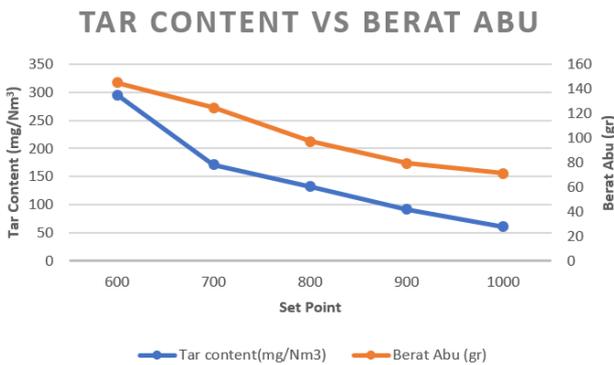
Pada penelitian kali ini akan melihat jumlah kandungan tar dalam gas menggunakan masukan udara bertingkat. Dari Gambar 8, menunjukkan bahwa kandungan tar tertinggi didapatkan pada set point 600<sup>0</sup>C memiliki nilai sebesar 295,59 mg/Nm<sup>3</sup>, dimana pada set point 600<sup>0</sup>C memiliki nilai distribusi temperatur pada masing-masing zona masih terlalu rendah sehingga kandungan tar yang dihasilkan masih tinggi. Sedangkan pada set point temperatur yang semakin meningkat kandungan tar yang dihasilkan semakin berkurang dimana pada set point 700<sup>0</sup>C, 800<sup>0</sup>C, 900<sup>0</sup>C, 1000<sup>0</sup>C, kandungan tar yang dihasilkan secara berurutan sebesar 170,95 mg/Nm<sup>3</sup>; 132,51 mg/Nm<sup>3</sup>; 91,844 mg/Nm<sup>3</sup>; 60,95 mg/Nm<sup>3</sup>. Hasil ini menunjukkan hubungan antara kenaikan temperatur dengan jumlah kandungan tar yang dihasilkan, dimana ketika temperatur semakin meningkat maka distribusi temperatur pada masing-masing zona semakin baik sehingga tar yang dihasilkan ikut menurun. Hal ini disebabkan karena pada suhu tinggi dapat membantu meningkatkan retak tar di zona oksidasi. Pada kondisi ini proses pemecahan tar primer akan mulai mengalami perubahan dan lebih banyak membentuk molekul yang lebih ringan yang disebut tar sekunder. Ketika tar sekunder melewati zona oksidasi maka akan terjadi proses *thermal cracking* dan kemudian akan terbentuk tar tersier yang lebih ringan. Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa set point 600<sup>0</sup>C, 700<sup>0</sup>C, 800<sup>0</sup>C, memiliki nilai tar yang melebihi batas ambang tar yang diijinkan. Apabila kandungan tar yang dihasilkan melebihi batas ambang tar yang diijinkan maka kandungan *syngas*



Gambar 11. Grafik Tar Content VS CCR



Gambar 13. Grafik CCR VS Berat Abu



Gambar 12. Grafik Tar Content VS Berat Abu

Pada Gambar 10, dapat dilihat bagaimana nilai massa abu yang dihasilkan pada saat melakukan penelitian. Pada *set point* 700°C nilai massa abu yang dihasilkan adalah 145,03 gr, kemudian untuk *set point* 800°C; 900°C; 1000°C; berturut-turut nilai massa abu yang dihasilkan adalah 124,75 gr; 97,00 gr; 79,32 gr; 71,39 gr. Pada *set point* 700°C nilai massa abu yang dihasilkan paling tinggi dan nilai massa abu yang dihasilkan terus menurun hingga *set point* 1000°C. Pada *set point* 600°C abu yang dihasilkan lebih tinggi karena temperatur pada zona oksidasi lebih rendah sehingga karbon yang tidak terkonversi berubah menjadi abu. Kemudian pada *set point* 1000°C komponen carbon lebih banyak teroksidasi dan terkonversi menjadi gas yaitu CO, CO<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>.

yang dihasilkan kurang baik karena dapat mempengaruhi performa mesin yang dijalankan.

C. Analisa Carbon Conversion Rate

Carbon Conversion Rate (CCR) merupakan salah satu indikator yang digunakan untuk mengevaluasi dari performa gasifikasi. CCR adalah perbandingan antara kandungan carbon (C) pada biomassa dengan kandungan carbon (C) hasil gasifikasi yang dikonversikan menjadi syngas.

Pada Gambar 9 menunjukkan pengaruh dari *Set point* terhadap carbon conversion rate. Ketika *Set point* 600°C karbon yang terdapat dalam pelet pelepah kelapa sawit menjadi syngas sebesar 58.6%, sedangkan untuk *Set Point* 700°C; *Set point* 800°C; *Set point* 900°C; *Set point* 1000°C berturut-turut sebesar 65,3%; 70,5%; 75,0%; 76,8%. Dengan memberi *set point* temperatur dapat dilihat karbon dari pelet pelepah kelapa sawit yang dapat dikonversikan menjadi syngas juga berubah. Carbon conversion rate merupakan salah satu indikator performa gasifikasi. Pada saat *set point* 600°C nilai CCR yang terkonversi merupakan nilai yang paling rendah dan pada saat *set point* 1000°C nilai CCR yang terkonversi merupakan nilai yang paling tinggi, akan tetapi nilai CCR yang tinggi belum tentu mengindikasikan performa yang baik karena perlu dilihat kembali rasio antara CO<sub>2</sub>, CO dan CH<sub>4</sub>. Kandungan CO dan CH<sub>4</sub> merupakan flammable gas sedangkan kandungan CO<sub>2</sub> merupakan unflammable gas.

D. Analisa Keseimbangan massa & Ash

Analisa keseimbangan massa dilakukan pada reaktor gasifikasi dengan melihat perubahan pada *input* dan *output* yang terjadi. Laju alir massa dari gas produksi dapat menjadi salah satu variabel dalam perhitungan keseimbangan massa. Berikut merupakan hasil perhitungan laju produksi dari gas, char dan abu.

E. Analisa Tar Content & CCR

Analisa Tar content dan CCR dapat dilihat pada Gambar 11, dimana terlihat perbandingan antara Tar content dan CCR dilakukan berdasarkan *set point* temperatur yang diberikan. Pada *set point* 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, dan 1000°C, nilai Tar content berturut-turut sebesar 295,59 mg/Nm<sup>3</sup>; 170,95 mg/Nm<sup>3</sup>; 132,51 mg/Nm<sup>3</sup>; 91,84 mg/Nm<sup>3</sup>; 60,95 mg/Nm<sup>3</sup>. Pada *set point* 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, dan 1000°C, nilai CCR berturut-turut sebesar 59,66%; 65,32%; 70,59%; 75,05%; 76,89%. Dapat dilihat bahwa hubungan antara nilai Tar content dan CCR berhubungan dimana ketika *set point* yang semakin naik nilai dari Tar content semakin menurun dan nilai dari konversi karbon dari biomassa ke syngas nilainya semakin naik dan dapat diartikan antara nilai Tar content dan CCR berhubungan dengan naiknya temperatur.

F. Analisa Tar Content & Berat Abu

Analisa Tar content dan berat abu dapat dilihat pada Gambar 12, dimana terlihat perbandingan antara Tar content dan berat abu dilakukan berdasarkan *set point* temperatur yang diberikan. Pada *set point* 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, dan 1000°C, nilai Tar content berturut-turut sebesar 295,59 mg/Nm<sup>3</sup>; 170,95 mg/Nm<sup>3</sup>; 132,51 mg/Nm<sup>3</sup>; 91,84 mg/Nm<sup>3</sup>; 60,95 mg/Nm<sup>3</sup>. Pada *set point* 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, dan 1000°C, nilai berat abu berturut-turut sebesar 145,03 gr; 124,75 gr; 97,00 gr; 79,32 gr; 71,39 gr. Dapat dilihat bahwa hubungan antara nilai Tar content dan berat abu berhubungan dimana ketika *set point* yang semakin naik nilai dari Tar content semakin menurun dan berat abu nilainya juga semakin turun dan dapat diartikan antara nilai Tar content dan berat abu berhubungan dengan naiknya temperatur.

G. Analisa CCR & Berat Abu

Analisa CCR dan berat abu dapat dilihat pada Gambar 13, dimana terlihat perbandingan antara CCR dan berat abu

dilakukan berdasarkan *set point* temperatur yang diberikan. Pada *set point* 600<sup>0</sup>C, 700<sup>0</sup>C, 800<sup>0</sup>C, 900<sup>0</sup>C, dan 1000<sup>0</sup>C, nilai CCR berturut – turut sebesar 59,66%, 65,32%, 70,59%, 75,05%, 76,89%. Pada *set point* 600<sup>0</sup>C, 700<sup>0</sup>C, 800<sup>0</sup>C, 900<sup>0</sup>C, dan 1000<sup>0</sup>C, nilai berat abu berturut – turut sebesar 145,03 gr, 124,75 gr, 97,00 gr, 79,32 gr, 71,39 gr. Dapat dilihat bahwa hubungan antara nilai CCR dan berat abu berhubungan dimana ketika *set point* yang semakin naik nilai dari CCR semakin naik dan berat abu nilainya semakin turun dan dapat diartikan antara nilai *Tar content* dan berat abu berhubungan dengan naiknya temperatur.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Pada *set point* temperatur 600<sup>0</sup>C, 700<sup>0</sup>C, 800<sup>0</sup>C, reaktor dapat mencapai temperatur yang diinginkan dengan tanpa melakukan *feeding*, sedangkan pada *set point* 900<sup>0</sup>C & 1000<sup>0</sup>C perlu dilakukan *feeding* untuk mencapai temperatur yang diinginkan. Dengan tambahan GCU (*Gasification Control Unit*) dapat mempertahankan temperatur pada zona oksidasi sesuai dengan yang diinginkan

Pada *set point* 600<sup>0</sup>C, nilai kandungan tar pada *syngas* sebesar 259,59 Nm<sup>3</sup>. Pada *set point* 700<sup>0</sup>C, nilai kandungan tar pada *syngas* sebesar 170,95 Nm<sup>3</sup>. Pada *set point* 800<sup>0</sup>C, nilai kandungan tar pada *syngas* sebesar 132,51 Nm<sup>3</sup>. Pada *set point* 900<sup>0</sup>C, nilai kandungan tar pada *syngas* sebesar 91,844 Nm<sup>3</sup>. Pada *set point* 1000<sup>0</sup>C, nilai kandungan tar pada *syngas* sebesar 60,95 Nm<sup>3</sup>

Nilai karbon pada pelet yang dapat dikonversikan ke dalam *syngas* pada *set point* 600<sup>0</sup>C adalah sebesar 59,66%. Nilai

karbon pada pelet yang dapat dikonversikan ke dalam *syngas* pada *set point* 700<sup>0</sup>C adalah sebesar 65,32%. Nilai karbon pada pelet yang dapat dikonversikan ke dalam *syngas* pada *set point* 800<sup>0</sup>C adalah sebesar 70,59%. Nilai karbon pada pelet yang dapat dikonversikan ke dalam *syngas* pada *set point* 900<sup>0</sup>C adalah sebesar 75,05%. Nilai karbon pada pelet yang dapat dikonversikan ke dalam *syngas* pada *set point* 1000<sup>0</sup>C adalah sebesar 76,89%.

Nilai massa abu yang dihasilkan pada *set point* 600<sup>0</sup>C adalah sebesar 145,03gr. Pada *set point* 700<sup>0</sup>C adalah sebesar 124,75gr. Pada *set point* 800<sup>0</sup>C adalah sebesar 97,00gr. Pada *set point* 900<sup>0</sup>C adalah sebesar 79,32gr. Pada *set point* 1000<sup>0</sup>C adalah sebesar 71,39gr. nilai massa abu yang semakin menurun dengan semakin naiknya *set point* temperatur karena komponen carbon lebih banyak teroksidasi dan terkonversi menjadi gas yaitu CO, CO<sub>2</sub>, dan CO.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Erio Daniel Damanik mengucapkan terima kasih kepada Tim Gasifikasi yang telah membantu selama penelitian dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat sebagai pemberi dana dalam pengerjaan studi ini.

#### REFERENCES

- [1] N. Striugas, K. Zakarauskas, A. Džiugys, R. Navakas, and R. Paulauskas, "An evaluation of performance of automatically operated multi-fuel downdraft gasifier for energy production," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 73, no. 1, pp. 1151–1159, 2014, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.09.007.