

UJI KINERJA MESIN DIESEL GENERATOR MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR MODE SISTEM *DUAL FUEL SOLAR* DAN *SYNGAS* HASIL GASIFIKASI DARI TONGKOL JAGUNG

Romi Djafar¹, Agus Sussanto Ginting²

^{1,2} Program Studi Mesin dan Peralatan Pertanian, Politeknik Gorontalo

Email: romidjafar@poligon.ac.id ¹

ABSTRAK

Saat ini ketersediaan bahan bakar fosil semakin langka dan harganya semakin meningkat sehingga dibutuhkan sumber energi alternatif yang sifatnya dapat diperbaharui. Sumber energi alternatif seperti biomasa dapat dikonversi menjadi *syngas* melalui proses gasifikasi untuk berbagai keperluan misalnya *Internal combustion engine* (ICE).

Penelitian ini mengaplikasikan *syngas* reaktor *downdraft* dari bahan bakar tongkol jagung untuk mesin diesel generator set. Tujuan penelitian adalah mengetahui performa reaktor gasifikasi, performa mesin diesel, dan mengetahui jumlah bahan bakar solar yang tergantikan dengan adanya penambahan *syngas*. Untuk mendapatkan hasil penelitian maka produser gas dilewatkan melalui saluran *inlet gas analyzer* yang beroperasi secara *real time* kemudian keluar menuju *intake manifold* mesin diesel. Adapun variasi pembebanan yang dilakukan adalah 200-2000 Watt pada interval 200 Watt dengan kecepatan konstan mesin diesel sebesar 1500 rpm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen *syngas* yang dihasilkan masing-masing konsentrasi adalah O₂ (10,2-26,7%), H₂ (7,9-13,6%), CH₄ (6,6-19,5%), CO (9,2-16,5%), CO₂ (6,3-14,5%), dan N₂ (59,8-43,3%). Efisiensi gas dingin gasifikasi diperoleh sebesar 35,5% dengan konsumsi bahan bakar sebesar 1,22 kg/jam.kW. Sedangkan jumlah bahan bakar solar yang tergantikan dengan adanya penambahan *syngas* yaitu sebesar 47,4%. Secara menyeluruh efisiensi total sistem diperoleh sebesar 10,8%.

Kata kunci: Reaktor, *Dual Fuel*, *Syngas*. Efisiensi

ABSTRACT

Currently, fossil fuels is scarce and it's price is increased, so energy renewable sources alternative are needed. Actually energy sources such as biomass can be converted to *syngas* through a gasification process for various purposes, eg *Internal Combustion Engine* (ICE).

In this research, *downdraft* reactor *syngas* application from corncob fuel for diesel engine generator set. This study aimed to determine performance of gasification reactor, diesel engine, and determine amount of diesel fuel that was replaced by *syngas* addition. To get results of the research, gas producer is passed through inlet gas analyzer channel which operates in real time then exits to the diesel engine intake manifold directly. The generator load is varying between 200-2000 Watt intervals 200 Watt at with a constant speed at 1500 rpm.

The results showed that *syngas* components produced concentrations are O₂ (10.2-26.7%), H₂ (7.9-13.6%), CH₄ (6.6-19.5%) , CO (9.2-16.5%), CO₂ (6.3-14.5%) and N₂ (59.8-43.3%). Cold gasification efficiency at 35.5% with fuel consumption of 1.22 kg/hour.kW respectively. While a amount of diesel fuel replaced by *syngas* addition is 47.4% with overall system efficiency is 10.8%.

Keywords: Reactor, *Dual Fuel*, *Syngas*. Efficiency

3. PENDAHULUAN

Di Indonesia umumnya kebutuhan energi listrik di perkotaan disuplai oleh PLN yang berasal dari Pembangkit Listrik dengan bahan bakar fosil seperti batubara dan bahan bakar gas. Penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus telah memberikan berbagai dampak saat ini, seperti ketersediaannya semakin berkurang, harga dipasaran global terus meningkat serta polusi udara yang berasal dari debu dan asap pembakaran bahan bakar fosil tersebut. Salah satu upaya yang dapat

dilakukan untuk meminimalisir persoalan tersebut adalah teknologi gasifikasi biomasa sebagai alternatif yang cocok untuk diaplikasikan menggerakkan generator listrik.

Raman et al., 2018 melakukan desain pengembangan dan analisis performa sistem gasifikasi *dual chamber* untuk aplikasi pembangkit listrik yang bertujuan untuk mencari solusi berbagai hambatan mengenai kemurnian gas serta proses teknologinya melalui metode *dry cleaning* dan *water cooling*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

jumlah tar yang diijinkan untuk mesin pembakaran mesin dalam adalah sebesar 100 mgNm³ dengan efisiensi gas dingin sebesar 89%. Adapun rekomendasi penelitian kedepannya yaitu aplikasi produser gas untuk listrik skala yang lebih besar.

Metode menghilangkan tar dan berbagai hal lainnya Jena et al., 2018 menggunakan media filter untuk aplikasi *internal combustion* dengan mengatur parameter rasio ekivalen gasifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk dapat menjalankan mesin maka kandungan tar sebesar 150 mgNm³. Berdasarkan hasil analisis disimpulkan bahwa metode menjernihkan produser gas dapat dilakukan dengan berbagai metode namun tidak dapat merubah komposisi dari *syngas* tersebut.

Rizkal dan Sudarmanta.,2016 melakukan eksperimen dengan proses pemasukan aliran *syngas* yang dihasilkan *downdraft municipal solid waste (MSW)* ke dalam saluran mesin *diesel generator set* secara langsung menggunakan sistem *mixer*. Tujuan penelitian untuk melihat seberapa besar jumlah bahan bakar yang digunakan saat menggunakan sistem *dual fuel*. Akan tetapi kajian tersebut tidak meneliti mekanisme *dual fuel* dengan penyimpanan terlebih dahulu pada tabung bertekanan.

Homdoun et al.,2015 melakukan investigasi mesin skala kecil hasil modifikasi menggunakan bahan bakar *syngas*. Modifikasi dilakukan terhadap suatu mesin diesel ke dalam model pengapian sistem injeksi sehingga bahan bakar menjadi 100% *syngas*. Mesin hasil modifikasi tersebut terhubung dengan *dynamometer* untuk mengetahui performa mesin berupa daya torsi, efisiensi dan konsumsi bahan bakar. Untuk mendapatkan hasil penelitian maka digunakan variasi putaran mesin. Namun hasil kajian tidak meneliti efek perubahan beban listrik.

Aplikasi untuk mesin pembakaran dalam selanjutnya yaitu studi eksperimen *downdraft gasifier Ram et al., 2012* dengan dua laluan suplai udara pembakaran yang menghasilkan gas mampu bakar digunakan pada mesin diesel sistem *dual fuel* untuk menghasilkan energi listrik.

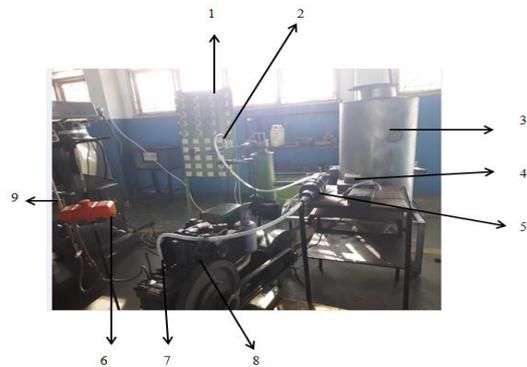
Penelitian lain dilakukan oleh Chaves et al., 2015 tentang *small-scale power generation analysis downdraft gasifier coupled to engine generator set*. Tujuan utama penelitian adalah memb erikan kontribusi terhadap energi listrik dengan metode tekno analisis mengenai pembangkit skala kecil dari bahan bakar limbah kayu untuk menghasilkan *syngas* yang dihubungkan sebuah unit *generator set*. Hasil kajian menyimpulkan bahwa efisiensi rata-rata *downdraft gasifier* sebesar 60-70% dengan efisiensi total sistem terendah antara 4.5-17%.

Berdasarkan literatur sebelumnya maka tujuan penelitian ini adalah aplikasi *syngas downdraft gasifier* menggunakan bahan bakar tongkol jagung yang diintegrasikan langsung ke mesin diesel menjadi sistem *dual fuel solar-syngas*.

Tujuan utama penelitian adalah mengetahui seberapa besar penghematan bahan bakar solar ketika adanya penambahan *syngas* dalam mesin diesel.

1.1 Model downdraft Gasifier

Penelitian ini dilakukan menggunakan reaktor gasifikasi biomassa tipe *downdraft* dengan dua laluan udara yang dilakukan oleh Djafar dan Darise.,2018. Adapun spesifikasi reaktor gasifikasi memiliki ukuran tinggi 115cm dan diameter sebesar 50cm. Sedangkan diameter *throat* sebesar 15cm. Ketebalan bahan yang digunakan adalah 2 mm dari material *galvanis steel*. Kemudian Untuk mereduksi panas yang keluar dari dalam reaktor dipasang isolasi dari bahan *glasswall*. Sedangkan indikator suhu dipasang termokopel tipe K sebanyak 5 titik dipasang sepanjang ketinggian reaktor T1 zona *drying*, T2, T3, zona pirolisis, T4 zona oksidasi, dan T5 zona reduksi. Skema alat uji pada Penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Integrasi Reaktor *Downdraft* dengan Generator Set

Keterangan:

- | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------|----------------------------|--|------------------------------|----------------------------|
| 1. Papan Listrik Uji beban | 2. Gas outlet reaktor Gasifikasi | 3. Unit Reaktor Gasifikasi Downdraft | 4. Alat baca Suhu Termokopel | 5. Data Logger | 6. Tanki Bahan Bakar Solar | 7. Syngas masuk Intake manifold mesin Deisel | 8. Mesin Diesel Kubota RD 85 | 9. Buret Pyrex Glass 25 ml |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------|----------------------------|--|------------------------------|----------------------------|

1.2 Diesel Generator Set

Reaktor *downdraft* pada Gambar 1 akan memproduksi gas mampu bakar kemudian kopel secara langsung pada mesin diesel yang akan memutar generator listrik, selanjutnya putaran mekanik dikonversi menjadi energi listrik menyalakan lampu pada papan kontrol percobaan. Adapun spesifikasi generator adalah generator (Yasuka) dengan daya 5 kW pada putaran 1500 rpm.

1.3 Langkah-Langkah Pengujian

Proses pengujian dapat berlangsung dengan baik maka terlebih dilakukan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan biomassa berupa tongkol jagung sebagai bahan bakar berdasarkan pengukuran menggunakan *moisture meter* sebesar 13%.
2. Pemeriksaan kondisi reaktor mulai dari kebersihannya, pengecekan bagian kelengkapan hingga reaktor dipastikan dapat berfungsi dengan baik.
3. Masukkan bahan bakar tongkol jagung sampai batas *nozzle*, selanjutnya dilakukan penyalaan awal dibantu dengan kertas yang dicelupkan pada solar untuk mempermudah *start-up*.
4. Kemudian atur kecepatan udara yang disuplai oleh *blower* dengan mengatur katup (*full open*) yang terpasang dipipa/*nozzle* di luar reaktor sesuai ukuran bukaan katup yang dibutuhkan.
5. Lakukan *start up* penyalaan api dalam reaktor
6. Apabila api sudah menyala dengan temperatur diatas 300°C selanjutnya reaktor di isi penuh (5kg/*batch*) kemudian *hopper inlet* ditutup rapat.
7. Ketika kondisi sudah steady maka selanjutnya mesin diesel dihidupkan kondisi standar.
8. Lakukan pengaturan kecepatan mesin sebesar 1500 rpm
9. Lakukan integrasi *syngas* dengan saluran *intake manifold* mesin diesel
10. Lakukan variasi pembebanan dengan interval 200 watt.

4. Kajian Pustaka

Gasifikasi secara bahasa dapat diartikan sebagai pembuatan gas. Secara definisi yang sebenarnya, gasifikasi adalah proses konversi energi dari bahan bakar yang mengandung karbon (padat ataupun cair) menjadi gas yang disebut *producer gas* dimana gas tersebut memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Produk luaran gasifikasi yang telah dimurnikan adalah terdiri dari campuran karbon monoksida (CO), hydrogen (H₂) dan metan (CH₄) yang disebut *syngas* dan pengotor inorganik seperti NH₃, HCN, H₂S, debu halus serta pengotor organik yaitu kandungan tar. Komposisi gas ini sangat tergantung pada komposisi unsur dalam biomassa baik bentuk, ukuran partikel biomassa, serta kondisi-kondisi proses gasifikasi.

Secara umum terdapat 4 proses gasifikasi yaitu pengeringan, pirolisis, pembakaran dan reduksi.

- a. *Drying* atau pengeringan proses *drying* dilakukan bertujuan agar mengurangi kadar air (*moisture content*) yang terkandung di dalam biomassa dan semaksimal mungkin kandungan air tersebut hilang. Pada proses *drying* temperatur berkisar antara 100-300°C.
- b. Pirolisis terjadi ketika biomassa mulai mengalami kenaikan temperatur kisaran suhu antara 250-700°C. Pada tahap ini *volatile* yang terdapat pada biomassa terlepas dan

menghasilkan arang. Tahap pirolisis merupakan reaksi *endothermic* yang panasnya diperoleh dari oksidasi. Hasil pirolisis ada tiga jenis yaitu (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), tar, dan arang.

- b. Oksidasi atau proses pembakaran.
Oksidasi atau pembakaran merupakan reaksi yang penting terjadi di dalam reaktor akan mengalami proses oksidasi parsial, dimana proses ini merupakan proses eksoterm yang melepas sejumlah panas pada interval suhu diatas 900°C.
- C. Proses reduksi. Proses reduksi merupakan tahapan gasifikasi yang melibatkan suatu rangkaian *endothermic*. Proses *reduksi* gas CO₂ dan H₂O ini terjadi pada interval suhu 400-900°C. Reduksi gas CO₂ melalui reaksi kesetimbangan *boudouard equilibrium reaction* dan reduksi gas H₂O melalui reaksi kesetimbangan *water gas reaction*, dimana reaksi tersebut secara dominan dipengaruhi oleh suhu dan tekanan.

2.1. Prinsip Kerja Sistem Dual Fuel

Sistem *Diesel Dual Fuel* (DDF) adalah mesin diesel standar yang ditambahkan bahan bakar lain pada *intake manifold* dengan udara di dalam silinder mesin, baik diinjeksikan secara langsung maupun menggunakan *mixer* dengan penyalaan bahan bakar solar yang disebut *pilot fuel*. Bahan bakar ganda yang dapat digunakan seperti *solar-syngas* memiliki kelebihan seperti menghemat konsumsi dan biaya penggunaan solar sebagai bahan bakar. Biaya modifikasi mesin relatif lebih murah dibanding mengkonversi mesin gas (*gas engine*). Lebih jauh lagi aplikasi *syngas* dengan sistem *dual fuel* pada mesin diesel sangat ekonomis karena bahan baku bersumber dari biomassa, ramah lingkungan dan dapat meningkatkan efisiensi mesin, Azomiv et al., 2011.

2.2. Pengaturan Parameter Gasifikasi

Parameter penting operasi gasifikasi seperti ekuivalen rasio (ER), *Air Fuel Ratio* (AFR) aktual menggunakan pola pengaturan operasi *gasifier* yang dilakukan pada penelitian sebelumnya Djafar dan Darise 2018 yaitu kecepatan udara 15 m/s pada AFR 1.8 dan ER 0.25 serta laju konsumsi bahan bakar 1.7 kg/Jam. Parameter-parameter tersebut sangat penting dilakukan untuk menjamin gas mampu bakar yang dihasilkan *gasifier* benar-benar berkualitas dan tidak merusak komponen-komponen penting pada mesin diesel.

2.3. Evaluasi Gasifikasi Tongkol Jagung

Proses gasifikasi tongkol jagung dilakukan pada reaktor *downdraft* yang kondisi adiabatik. Adapun hasil pengujian nilai kalor *lower heating value* (LHV) tongkol jagung sebesar 10.85 MJ/kg (Rizkal Sudarmanta 2016). Sedangkan *higher*

heating value (HHV) menggambarkan kapasitas energi maksimum yang diperoleh melalui proses pembakaran (persamaan 1). Untuk menghitung efisiensi gasifikasi biomassa dapat ditentukan dari perbandingan energi yang terkandung dari syngas dengan energi yang terkandung dalam biomassa persamaan 2.

$$LHV = HHV - (C) \cdot [W + (0.09H) \cdot (1-W)] \quad (1)$$

$$\eta_G = \frac{LHV_g \cdot (\bar{Q}_G)}{LHV_M \cdot (\dot{W}_m)} \% \quad (2)$$

Secara umum lower heating value gas (LHVg) dari reaktor dawn draft berkisar 4-6 MJ.N.m³ (Martínez et al.,2012) maka untuk menentukan efisiensi gas dingin gasifikasi (η_G) pada penelitian ini adalah 4.5 MJ.Nm⁻³. Hal ini relevan dengan penelitian Martinez et al., dan Galindo et al.,2014 yang berkaitan dengan downdraft dua laluan udara. Sedangkan flow rate (\bar{Q}_G) syngas sebesar 14.3 N.m³h⁻¹ chaves et al.,2016 yang nilainya relevan dengan penelitian yang dilakukan Boloy et al.,2011.

2.4. Analisis Mesin Diesel Generator Set

Dalam pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar sistem dual fuel, putaran mesin juga dijaga konstan pada 1500 rpm kemudian dilakukan variasi pembebanan listrik pada interval 200watt. Analisis yang berkaitan dengan mesin generator set maka konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yaitu jumlah bahan bakar persatuan waktu (kg/jam) berbanding dengan daya yang dihasilkan (kW) dalam persamaan 3.

$$SFC = M_f / N_e \quad (3)$$

- M_f = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)
- N_e = Daya yang dihasilkan (kW)
- SFC = specific fuel consumption (kg/jam.kW)

Performa gasifier engine system adalah diukur dari rasio energi listrik yang dibangkitkan dengan energi input yang dihasilkan dari mesin diesel dan bahan bakar biomassa yang disebut total efisiensi sistem Galindo et al., 2014 yang ditunjukkan pada persamaan 4 sebagai berikut.

$$\eta_o = Pe / (md.Hd + B_{FR} \times HHVb / 3.6) \times 100 \%$$

- Pe = Daya yang dihasilkan (kW)
- Vpg = Flowrate gas (m3/jam)

- Bfr = Biomassa Feed rate (kilogram/jam)
- Hd = Heating value (44.8 MJ/kg)
- Md = Diesel Fuel Comsuption (mm/second)
- LHVb = Heating value biomassa (Mj/kg)
- LHVg = Low heating value gas (MJ/m³)

3. Pembahasan Hasil Penelitian

Untuk mendapatkan tujuan penelitian maka dilakukan dua tahapan percobaan pengujian sebagai berikut.

a. Pengujian reaktor gasifikasi

Sebelum dilakukan integrasi syngas ke sistem dual fuel mesin diesel generator maka terlebih dahulu set-up gasifier yaitu menggunakan bahan baku tongkol jagung sebanyak 5 kg, ekuivalen rasio (ER) 0.25 dengan kecepatan udara 10 m/s untuk sekali pengujian (batch). Produser gas berupa CO, CH₄, H₂ dan CO₂ dapat ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Komposisi Gas Hasil Penelitian

Komposisi Gas rata-rata (%)	H ₂	O ₂	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂
	7.9	10.3	13.2	11.03	14.1	43.3
Ekuivalen Rasio	0.25					
Laju Udara	Aliran	10 m/s				

Komposisi produser gas yang terdapat pada Tabel 1 merupakan persentase (%) rata-rata selama satu jam pengujian yang terbaca pada gas analyzer secara real time. Berdasarkan hasil pengujian maka gas analyzer dapat mengukur H₂, O₂, CH₄, CO, dan CO₂ % by volume. Sedangkan nitrogen (N₂) ditentukan dari pengurangan semua komponen-komponen dari 100% dengan asumsi terdapatnya gas-gas lain diabaikan. Selama proses pengujian syngas pada sistem dual fuel diperoleh beberapa kondisi persentase komposisi gas yang fluktuatif dengan interval yang cukup signifikan misalnya berturut-turut konsentrasi O₂ (10,2-26,7%), H₂ (7,9-13,6%), CH₄ (6,6-19,5%), CO (9,2-16,5%), dan konsentrasi CO₂ (6,3-14,5%). Hasil ini berkorelasi dengan literatur Jena et al.,2018 yaitu ketika gasifier beroperasi pada ER 0.2-0.4 dihasilkan interval suhu reaktor antara 650-900°C. Sedangkan persentase konsentrasi dari syngas yang dihasilkan memiliki nilai yang variatif yaitu disaat persentase CH₄, CO dan CO₂ meningkat maka nilai O₂ dan H₂ mengalami penurunan. Hal lain yang dapat diamati bahwa ketika suhu reaktor semakin meningkat yaitu sekitar 900°C maka tren H₂ relatif konstan tetapi Produksi CH₄ dan CO₂ semakin kecil akibat reaksi endothermic semakin dominan terjadi di dalam reaktor.

3.1. Efisiensi Gasifikasi *downdraft Double Stage*.

Efisiensi termal gasifikasi biomassa sering diukur sebagai efisiensi gas dingin ($\dot{\eta}_{cold\ gas\ efficiency}$). Dalam efisiensi gas dingin produk dari LHV gas dan laju volumetrik gas yang dihasilkan dianggap sebagai *output* termal *gasifier*. Dengan mengetahui nilai kalor bawah tongkol jagung maka nilai kalor atas (HHV) dapat ditentukan sebesar 12.5 Mj/kg (Persamaan 1). Sedangkan hasil perhitungan didapatkan efisiensi gas dingin dari reaktor *downdraft* adalah sebesar 35.5% (persamaan 2).

3.2. Proses Pengujian Mesin Diesel Sistem *Single Fuel*

Pengujian mesin diesel sistem sistem *single fuel* atau kondisi standar yaitu menggunakan bahan bakar solar. Pada penelitian digunakan 1 liter bahan bakar solar dimana putaran mesin dijaga konstan pada 1500 rpm kemudian dilakukan variasi tanpa pembebanan dan menggunakan pembebanan antara 200-2000 watt pada interval 200 watt. Hal ini bertujuan adalah untuk melihat seberapa besar bahan bakar yang dikonsumsi mesin diesel dalam setiap menitnya dan akan dicatat setiap penambahan beban listrik. Hasil ini akan digunakan sebagai perbandingan pada sistem *dual fuel*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Mesin Diesel *Single Fuel*

Konstan	Sistem	Variasi pembebanan												Satuan	Waktu (Detik)
		0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	Watt (W)		
1500 Rpm	<i>Single Fuel</i>	3.5	4	4	4.6	4.75	4.85	5	5.35	5.5	5.87	6.75	Milli Liter (ml)	60	

Tabel 2 menunjukkan variasi pembebanan listrik pada interval 200 watt untuk kecepatan putar mesin 1500 rpm dengan interval waktu 1 menit setiap variasi pengujian. Adapun rata-rata konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan mesin diesel setelah dilakukan pembebanan adalah sebesar 4.85 ml/menit. Sedangkan tanpa pembebanan sebesar 3.5 ml/menit atau kenaikan konsumsi bahan bakar sebesar 27.8% setelah terjadi pembebanan.

3.3. Proses Pengujian Mesin Diesel Sistem *Dual Fuel*

Pada proses ini merupakan aplikasi *syngas* untuk menggerakkan generator set menghasilkan energi listrik. Proses variasi sama dengan sistem *single fuel*. Adapun hasil data penelitian ditunjukkan pada Tabel 3 Sebagai berikut.

Konstan	Sistem	Variasi pembebanan												Satuan	Waktu (Detik)
		0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	Watt (W)		
1500 Rpm	<i>Single Fuel</i>	3.5	4	4	4.6	4.75	4.85	5	5.35	5.5	5.87	6.75	Milli Liter (ml)	60	
	<i>Dual Fuel</i>	2	1	1.25	1.37	1.5	2.37	2.5	2.87	3	3.12	40			

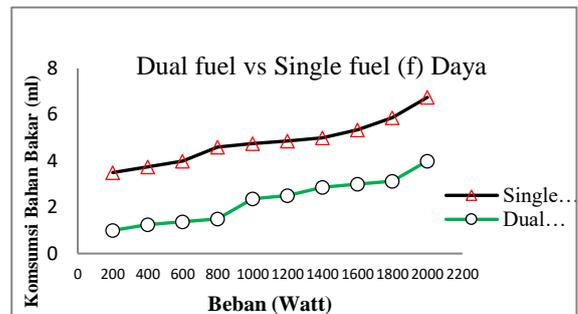
Data pengujian yang terdapat pada Tabel 3 menunjukkan jumlah konsumsi bahan bakar hasil pengujian, dimana rata-rata konsumsi bahan bakar adalah 2.29 ml/menit

3.4 Analisis Performa Mesin Diesel Generator

Beberapa performa mesin diesel yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar *Single Fuel* dan *Dual Fuel*.

Perbandingan konsumsi bahan bakar untuk melihat seberapa besar jumlah bahan bakar yang tersubstitusi dengan adanya penambahan bahan bakar berupa *syngas* untuk menggerakkan energi listrik. Hasil perbandingan dapat ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Perbandingan *single fuel* dengan *dual fuel*

Berdasarkan hasil pengujian diketahui pengaruh *syngas* terhadap konsumsi bahan bakar mesin diesel. Adapun *single fuel* dengan adanya penambahan beban listrik maka jumlah konsumsi bahan bakar juga semakin bertambah. Dimana pada pembebanan 200 watt diperlukan 3.5ml solar sedangkan pada pembebanan maksimal yaitu 2000 Watt dibutuhkan 6.75ml solar. Sedangkan sistem *dual fuel* jumlah konsumsi bahan bakar pada pembebanan 200 watt diperlukan solar sebesar 1 ml. Sementara pada beban tertinggi yaitu 2000 watt dibutuhkan solar 4 ml/menit. Hasil grafik pada Gambar 1 sudah bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan Rizkal dan Sudarmanta, (2016) dimana didapatkan nilai laju energi pada pengoperasian *dual fuel* lebih tinggi dibandingkan pengoperasian *single fuel*. Hal ini disebabkan untuk setiap siklus pada setiap daya yang sama maka adanya penambahan gas menyebabkan proses pencampuran bahan bakar menjadi lebih baik, sehingga untuk setiap siklus yang sama kebutuhan energi yang digunakan untuk proses pembakaran menjadi lebih baik untuk pembebanan yang sama pada setiap

siklusnya. Adapun persentase bahan bakar yang tersubstitusi adalah 47.4% dari kondisi standar.

b. Analisis Mesin Diesel Generator Set; Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC)

Pada umumnya sistem gasifikasi yang *produser* gasnya yang diintegrasikan dengan mesin sistem pembakaran dalam memiliki *flow rate syngas* 14.3 N m³h⁻¹. Sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik pada penelitian ini didapatkan nilai sebesar 1.22 kg/jam.kW (Persamaan 2). Umumnya SFC dipengaruhi energi potensial dan campuran *produser* gas sebagai fungsi beban generator yang diberikan.

b. Efisiensi Total Sistem Mesin Generator Set

Performa mesin generator umumnya dipengaruhi oleh efisiensi termal mesin. Untuk konversi daya mekanik menjadi daya listrik yang dikopel dengan generator efisiensi tertinggi sebesar 95%. Saat adanya peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik maka efisiensi generator set mengalami penurunan. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka efisiensi total sistem pada penelitian ini adalah sebesar 10.8% (persamaan 4). Hasil ini berkorelasi dengan penelitian Boloy et al., 2011 yang menghasilkan efisiensi *downdraft* yang dikopel dengan mesin generator sebesar 12.8-13.5% pada beban maksimum.

4. Kesimpulan Dan Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut:

a. Kesimpulan

1. Komponen *syngas* yang dihasilkan masing-masing komponen berupa O₂ (10,2-26,7%), H₂ (7,9-13,6%), CH₄ (6,6-19,5%), CO (9,2-16,5%), konsentrasi CO₂ (6,3-14,5%), dan N₂ (59,8-43,3%)
2. Efisiensi gas dingin gasifikasi diperoleh sebesar 35.5% dengan konsumsi bahan bakar sebesar 1.22 kg/jam.kW.
3. Konsumsi bahan bakar mode *single fuel* pada beban minimal sebesar 3.5 ml/menit dan pembebanan maksimal sebesar 6.75 ml/menit. Sedangkan sistem *dual fuel* pada beban minimal sebesar 1 ml/menit dan pada beban maksimal sebesar 4 ml/menit. Dengan persentase bahan bakar solar yang tersubstitusi sebesar 47.4 %.
4. Efisiensi total sistem sebesar 10.8%

b. Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan optimasi efisiensi reaktor gasifikasi *downdraft*.

Daftar Pustaka

- Raman, N.K. Ram*, Gupta. Energy 54 (2013) A dual fired downdraft gasifier system to produce cleaner gas for power generation: Design, development and performance analysis. Elsevier. Energy 170
- Jena^{1*}, M Shyam² and Joshi³.. Tar and Particulate Matters Removal from Producer Gas by using Oily Organic Filter Media. Environmental Science.11(1) 33-44
- Rizkal Sudarmanta (2016). Karakterisasi Unjuk Kerja Diesel Engine Generator Set Sistem Dual Fuel Solar-Syngas Hasil Gasifikasi Briket Municipal Solid Waste (MSW) Secara Langsung. JURNAL TEKNIK 2337-3539.
- Homdoun¹, Tippayawong ^{1,*} and Dussadee². (2015) Performance investigation of a modified small engine fueled with producer gas. Maejo Int. J. Sci. Technol.
- Nhuchhen & Salam (2012) Experimental study on two-stage air supply downdraft gasifier and dual fuel engine system. Biomass Conv. Bioref 2:159–168
- Chaves^a, M.J Silva^b, S.M.N de Souza^c D Secco^c, H.A Rosa^{c,n}, C.E.C and Nogueira^c E.P Frigo ^{b,d} (2016). Small-scale power generation analysis: Downdraft gasifier coupled to engine generator set. Renewable and Sustainable Energy Reviews 58 - 491–498.
- Djafar dan Darise. (2018). Pengaruh jumlah aliran udara terhadap nyala api efektif dari reaktor gasifikasi biomassa tipe fixed bed downdraft menggunakan bahan bakar tongkol jagung. JTech 6(2), 94 – 100.
- Azimov*, E.Tomita¹, Kawahara², Yuji Harada³. (2011) Effect of syngas composition on combustion and exhaust emission characteristics in a pilot-ignited dual-fuel engine operated in PREMIER combustion mode. International Journal
- Martínez a,b, J.D Mahkamov c,* , Rubenildo V. Andrade b , E.E.S Lora b (2012). Syngas production in downdraft biomass gasifiers and its application using internal combustion engines. Renewable Energy 38 1-9-
- Galindo AL, Lora ES, Andrade RV, Giraldo SY, Jaén RL, Cobas VM (2014). Biomass gasification in a downdraft gasifier with a two-stage air supply: effect of operating conditions on gas quality. Biomass Bioenergy;61:236–44
- Boloy RAM, JL Silveira, Tuna CE, C.R and JS Antunes. (2011) Ecological impacts from syngas burning in internal combustion

- engine: technical and economic aspects. *Renew Sustain Energy*;15:5194–201.
- Roy P.C a, A. Datta b, and Chakraborty (2013) An assessment of different biomass feedstocks in a downdraft gasifier for engine application. *Fuel* 106-864–868.