



JURNAL RONA TEKNIK PERTANIAN
ISSN : 2085-2614; e-ISSN 2528 2654
JOURNAL HOMEPAGE : <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RTP>



**Rancang Bangun Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm)
di Indonesia Melalui Aplikasi *Tar Wet Scrubber* Dan *Gas Filter*
Untuk Menurunkan Nilai *Tar***

Kiman Siregar^{1*}, Rizal Alamsyah², Ichwana³, Sholihati⁴, Saminuddin B.Tou⁵

^{1,3}Program Studi Teknik Pertanian – Fakultas Pertanian -Universitas Syiah Kuala

²Balai Besar Industri Agro (BBIA) – Kementerian Perindustrian

⁴Jurusan Teknik Industri Pertanian – Fak. Teknologi Pertanian –Universitas Serambi
Mekkah

⁵Dinas Kehutanan dan Lingkungan Kehutanan –Propinsi Aceh

*E-mail : ksiregar.tep@unsyiah.ac.id

Abstrak

Mesin gasifikasi bertujuan untuk menghasilkan gas mampu bakar (CO , H_2 , CH_4). Gas mampu bakar yang dihasilkan dapat digunakan untuk menggantikan *fossil fuel* untuk menjalankan *gas engine*. Namun gas mampu bakar yang dihasilkan tersebut mengandung *tar* (kotoran) yang masih tinggi, sehingga terjadi pengotoran filter *engine* dan mengakibatkan mesin tidak dapat dioperasikan dalam waktu yang cukup lama. Penelitian ini bertujuan untuk mendisain Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) pada daerah terisolasi dari jaringan listrik PT.PLN (Persero) di Indonesia melalui aplikasi *tar wet scrubber* dan *gas filter*. Mesin gasifier yang dirancang berupa tipe *downdraft* dengan kapasitas terpasang 25 kW. Tambahan komponen rangkaian PLTBm yang dirancang adalah *tar wet scrubber*, gas filter dan gas engine. Secara keseluruhan mesin PLTBm yang dirancang terdiri dari : ⁽¹⁾Tangki pengisian biomassa, ⁽²⁾Tangki biomassa, ⁽³⁾Reaktor tipe *downdraft*, ⁽⁴⁾*Cyclon*, ⁽⁵⁾*Tar wet scrubber*, ⁽⁶⁾*Water tank*, ⁽⁷⁾Gas filter, ⁽⁸⁾*Blower*, ⁽⁹⁾Gas engine kapasitas 25 kW, ⁽¹⁰⁾*Air inlet nozzle*, ⁽¹¹⁾*Connection pipe*, ⁽¹²⁾*Termometer indicator*, ⁽¹³⁾*Exhaust gas*, ⁽¹⁴⁾*Pressure indicator*. Pengurangan nilai *tar* selain menggunakan karbon aktif, juga menggunakan sistem perangkat kotoran gas (*wet scrubber*). Gasifier yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter reaktor 900 mm dan tinggi 1000 mm. *Cyclon* memiliki diameter 580 mm dengan tinggi 1766 mm. *Gas filter* memiliki panjang 700 mm, tinggi 700 mm dan lebar 700 mm. *Tar wet scrubber* terdiri dari 5 tabung (diameter tabung 300 mm) yang terangkai satu dengan yang lainnya dengan tujuan untuk menangkap *tar* yang masih terkandung dalam gas mampu bakar yang dihasilkan dari reaktor gasifikasi dengan dimensi total yaitu lebar 1750 mm dan tinggi 1300 mm.

Kata Kunci : PLTBm; energi terbarukan; *tar wet scrubber*; biomassa; gas filter

The Design of Power Plant Biomass in Indonesia With Application of Tar Wet Scrubber and Filter Gas To Decrease The Value of Tar

Kimam Siregar^{1*}, Rizal Alamsyah², Ichwana³, Sholihati⁴, Saminuddin B.Tou⁵

^{1,3}Department of Agricultural Engineering, Syiah Kuala University, Indonesia

^{2,6}Centre for Agro-Based Industry, Ministry of Industry Indonesia, Indonesia

⁴Department of Agricultural Industry Technology, Serambi Mekkah University, Indonesia

⁵Ministry of Forestry and Environment, Aceh Province, Indonesia

Email: ksiregar.tep@unsyiah.ac.id*

Abstract

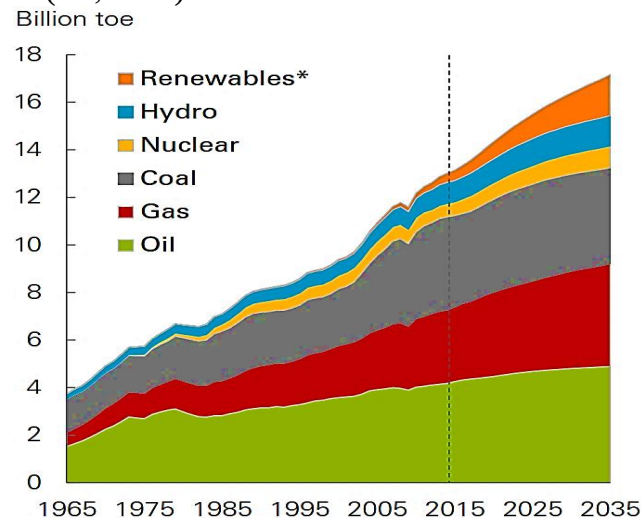
The gasification engine aims to produce combustible gas (CO, H₂, CH₄). The combustible gas produced can be used to replace fossil fuel to run the gas engine. However, the combustible gas produced contains tar (dirt) which is still high, resulting in engine filter impurity and resulting in the engine not being able to operate for quite a long time. This research aims to design a Biomass Power Plant (PLTBm) in an isolated area of the PT PLN (Persero) as electricity network in Indonesia through the application of a tar wet scrubber and gas filter. The gasifier engine is designed in the form of a downdraft type with an installed capacity of 25 kW. Additional components of the designed PLTBm circuit are the tar wet scrubber, gas filter and gas engine. Overall the system of PLTBm was designed to consist of: (1) Biomass filling tank, (2) Biomass tank, (3) Downdraft type reactor, (4) Cyclon, (5) Tar wet schrubber, (6) Water tank, (7) Gas filter, (8) Blower, (9) Gas engine with capacity is 25 kW, (10) Air inlet nozzle, (11) Connection pipe, (12) Thermometer indicator, (13) Exhaust gas, (14) Pressure indicator. In addition to reducing of tar value, activated carbon also uses a gas scrubber trap system (wet scrubber). The gasifier used in this study has a reactor diameter of 900 mm and a height of 1000 mm. Cyclon has a diameter of 580 mm with a height of 1766 mm. The gas filter has a length of 700 mm, height of 700 mm and width of 700 mm. The wet scrubber tar consists of 5 tubes (tube diameter 300 mm) strung together with one another in order to capture tar which is still contained in a combustible gas produced from a gasification reactor with a total dimension of 1750 mm width and 1300 mm height.

Keywords : Biomass power plant; renewable energy; tar wet scrubber; biomass; gas filter

PENDAHULUAN

Pada tahun 2015, Indonesia menetapkan target untuk mewujudkan 23 % pasokan energi primer yang berasal dari energi terbarukan modern pada tahun 2025. Indonesia merupakan negara terbesar di ASEAN, sehingga kebutuhan akan energi terus meningkat, untuk memenuhi permintaan energi yang berkembang maka peran energi terbarukan sangat diperlukan. Dengan populasi penduduk lebih dari 250 juta dan tersebar di lebih dari 17.000 pulau, Indonesia akan menghadapi tantangan dalam memenuhi permintaan dan penawaran energi. Proyeksi konsumsi energi di seluruh dunia akan meningkat sekitar 42 % dari tahun 2015 menjadi 47 % pada tahun 2035 (BP, 2017). Pada Gambar 1 diperlihatkan bahwa tuntutan semua jenis energi akan terus

meningkat namun energi terbarukan diperkirakan akan tumbuh lebih cepat daripada bahan bakar fosil (bahan bakar cair, gas alam dan batu bara). OPEC mengasumsikan kenaikan permintaan pasokan global sebesar 70 %, dari 9 Mb/d menjadi 48 Mb/d pada tahun 2035. Namun demikian di negara-negara non-OPEC, penggunaan bahan bakar minyak bumi untuk konsumsi energi akan turun dari 30 % menjadi 24 % selama periode antara 2015 dan 2035 (BP, 2017).

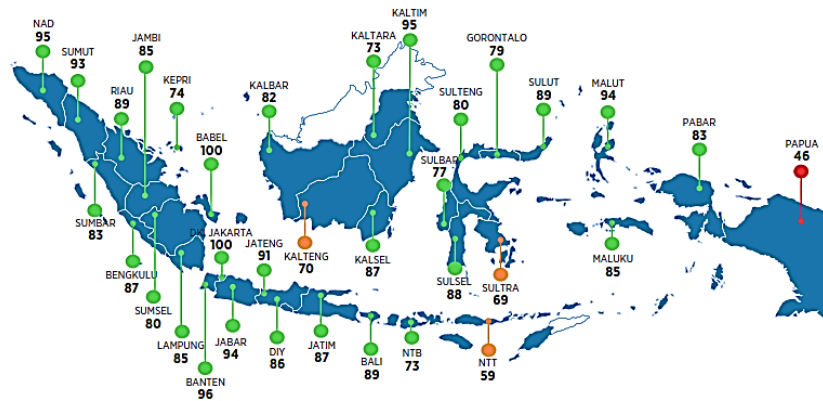


Gambar 1. Konsumsi energi primer bahan bakar, 1965-2035 (BP, 2017).

*Renewables includes wind, solar, geothermal, biomass, and biofuels

Pertumbuhan permintaan energi, tidak seimbang dengan ketersediaan energi di masyarakat. Hal ini terbukti dengan rasio *electricity* yang masih diangka 80 % untuk nasional dan beberapa daerah tertinggal rasio kelistrikannya masih 70 %, khusus untuk daerah yang terisolasi dari sistem jaringan listrik PT.PLN (Persero), rasio kelistrikannya masih ada yang dibawah 50% dengan kondisi hidup/menyala hanya pada malam hari. Salah satu solusi yang dapat ditempuh adalah memanfaatkan sumber energi terbarukan (ET) yang banyak tersedia di bumi Indonesia, dalam hal ini biomassa melalui teknologi gasifikasi.

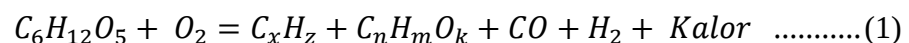
Pemanfaatan potensi biomassa sebagai sumber energi dalam mempertahankan dan memenuhi kebutuhan energi global. Secara khusus, gasifikasi biomassa yang menawarkan solusi sebagai energi pilihan, dan memberikan teknologi sederhana maupun modern dengan biaya terjangkau dan dapat diandalkan serta karbon yang dihasilkan minim. Tar merupakan faktor utama yang menghambat pengembangan pembangkit listrik gasifikasi biomassa. Penangkap tar (*scrubber*), dapat dilakukan dengan menurunkan temperatur *syngas* dan menangkap *tar* dengan semprotan air bertekanan lalu dibuang pada bagian lain, tetapi tidak terurai dalam bentuk endapan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem gasifikasi *downdraft* yang mampu menurunkan kandungan tar melalui penamabahan *tar wet scrubber* dan *filter engine* dalam rangkaian sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm). Gambar 2 menunjukkan adanya perbedaan besar rasio elektrifikasi di seluruh Indonesia, dimana untuk Papua rasio elektrifikasinya kurang dari 40 % sedangkan di Ibukota Jakarta rasio elektrifikasi mendekati 100 %. Perusahaan negara Indonesia PT.PLN (Persero) berupaya untuk meningkatkan rasio elektrifikasi sebesar 98 % pada tahun 2022 (IRENA, 2017).



Gambar 2. Tingkat elektrifikasi di Indonesia padatahun 2015 (IRENA, 2017)

Pemerintah telah berkomitmen untuk merealisasikan penyediaan listrik sebesar 35.000 MW dalam jangka waktu 5 tahun (2014-2019). Kontribusi pembangkit listrik berbasis energi baru dan terbarukan saat ini masih cukup rendah, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sebesar 9,9 %, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) sebesar 2,6 % dan energi baru terbarukan (EBT) lainnya masih di bawah 0,5 %. Sementara untuk ke depannya pemerintah telah mencanangkan kenaikan porsi EBT dalam program ketenagalistrikan nasional 35.000 MW. Sebanyak 8.750 MW akan dipasok dari pembangkit EBT seperti panas bumi, surya, biomassa dan air. Mengingat potensi yang sangat besar, penggunaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan merupakan salah satu jalan keluar dari ketergantungan pada bahan bakar fosil untuk dijadikan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm). Data Departemen Kehutanan tahun 2012 menyebutkan bahwa potensi biomassa di Indonesia yang ada di pulau Sumatera, Sulawesi, Papua, Jawa dan pulau lainnya mencapai 261,99 juta ton. Jika nilai kalor kayu sekitar 17 MJ/kg, sehingga ketersediaan energi biomassa mencapai $4,45 \times 10^9$ GJ. Potensi ini sungguh sangat besar jika dimanfaatkan secara optimal, maka Indonesia tidak lagi kekurangan energi listrik. Apalagi biomassa ini merupakan salah satu sumber energi terbarukan.

Pengembangan mesin Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) merupakan aplikasi dari teknologi gasifikasi. Dimana proses gasifikasi ini terdiri dari empat tahapan, yaitu pengeringan (dengan $T > 150$ °C), pirolisis (150 °C $< T < 700$ °C), oksidasi (700 °C $< T < 1500$ °C), dan reduksi (800 °C $< T < 1000$ °C). Proses pengeringan, pirolisis, dan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik), sedangkan proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik). Panas yang dihasilkan dalam proses oksidasi digunakan dalam proses pengeringan, pirolisis dan reduksi. Bahan kering hasil dari proses pengeringan mengalami proses pirolisis, yaitu pemisahan *volatile matters* (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari arang. Hasil pirolisis berupa arang mengalami proses pembakaran dan proses reduksi yang menghasilkan gas mampu bakar yaitu, H_2 dan CO (Pranolo, 2010). Produk yang dihasilkan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian utama, yaitu : padatan, cairan (termasuk gas yang dapat dikondensasikan) dan gas permanen. Secara umum reaksi proses gasifikasi biomassa dirumuskan seperti Persamaan 1 (Reed dan Das, 1988).



Walapun teknologi gasifikasi sudah cukup lama, namun saat ini teknologi ini masih relevan untuk pemanfaatan biomassa yang cukup banyak di Indonesia. Teknologi ini sangat layak digunakan pada daerah dengan sumber biomassa yang berlebih dan daerah yang belum terkoneksi dengan sistem jaringan listrik dari PT.PLN (Persero)

(isolated). Dalam teknologi PLTBm ini, gas mampu bakar yang dihasilkan proses gasifikasi digunakan untuk menggantikan *fossil fuel* sebagai bahan bakar gas *engine* yang digunakan untuk menghasilkan listrik. Siregar (2014) dan Siregar *et.al* (2015) menyebutkan bahwa masalah berikutnya yang muncul dari PLTBm/teknologi gasifikasi ini adalah tingginya tar/debu yang terkandung dalam gas mampu bakar yang dihasilkan, sehingga pengoperasian *engine* tidak dapat berlangsung lama, juga nilai/volume gas mampu bakar yang masuk ke *gas engine* tidak stabil, sehingga operasi *gas engine* hanya dapat dilaksanakan paling lama sekitar 6 - 8 jam, padahal untuk standar sub-ranting PT.PLN minimal operasi 12 jam sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Saat ini di daerah yang masih terisolasi dari jaringan listrik PT.PLN (Persero) di Indonesia masih banyak menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang menggunakan minyak solar, selain mahal sistem PLTD ini cukup tinggi menghasilkan gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global, yaitu 0,335 kg-CO₂eq per kWh listrik yang dihasilkan (Siregar, 2013). Mengingat masih banyak nya daerah-daerah di Indonesia yang masih terisolasi dari sistem jaringan listrik PT.PLN (Persero) dan disisi lain biomassa cukup berlimpah, maka pengembangan mesin PLTBm secara massal sangat bermanfaat dan dibutuhkan oleh Indonesia.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan merancang-bangun dan memproduksi mesin Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) kapasitas 25 kW yang sanggup beroperasi kontinyu minimal 12 jam per hari, dengan cara menambah *tar wet scrubber* dan *gas filter* untuk mengurangi/menghilangkan tar/kotoran yang terkandung dalam gas mampu bakar yang dihasilkan, sehingga pada akhirnya energi listrik bisa menjangkau desa-desa/daerah terisolasi di Indonesia dengan harga murah dan ramah lingkungan. Sasaran utama kegiatan ini adalah desa yang belum teraliri listrik, namun sumber biomassa di daerah tersebut cukup tersedia. Sasaran lainnya pabrik kelapa sawit, pabrik tebu, pabrik kayu, dan industri lain yang banyak menghasilkan biomassa.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di dua tempat, yaitu di Laboratorium Energi dan Instrumentasi Prodi Teknik Pertanian Unsyiah dan Balai Besar Industri Agro (BBIA) Kementerian Perindustrian di Bogor.

Disain Struktural dan Fungsional

Secara garis besar struktur Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa yang didisain terdiri dari tangki biomassa, *reactor*, *cyclone*, *tar wet scrubber*, *gas filter*, dan *gas engine*.

Alat dan Bahan Penelitian

Mesin gasifikasi yang dibuat menggunakan tipe *downdraft* dengan tujuan untuk menghasilkan nilai tar yang lebih sedikit. Spesifikasi bahan, material dan kapasitas mesin gasifikasi yang diproduksi diperlihatkan pada Tabel 1.

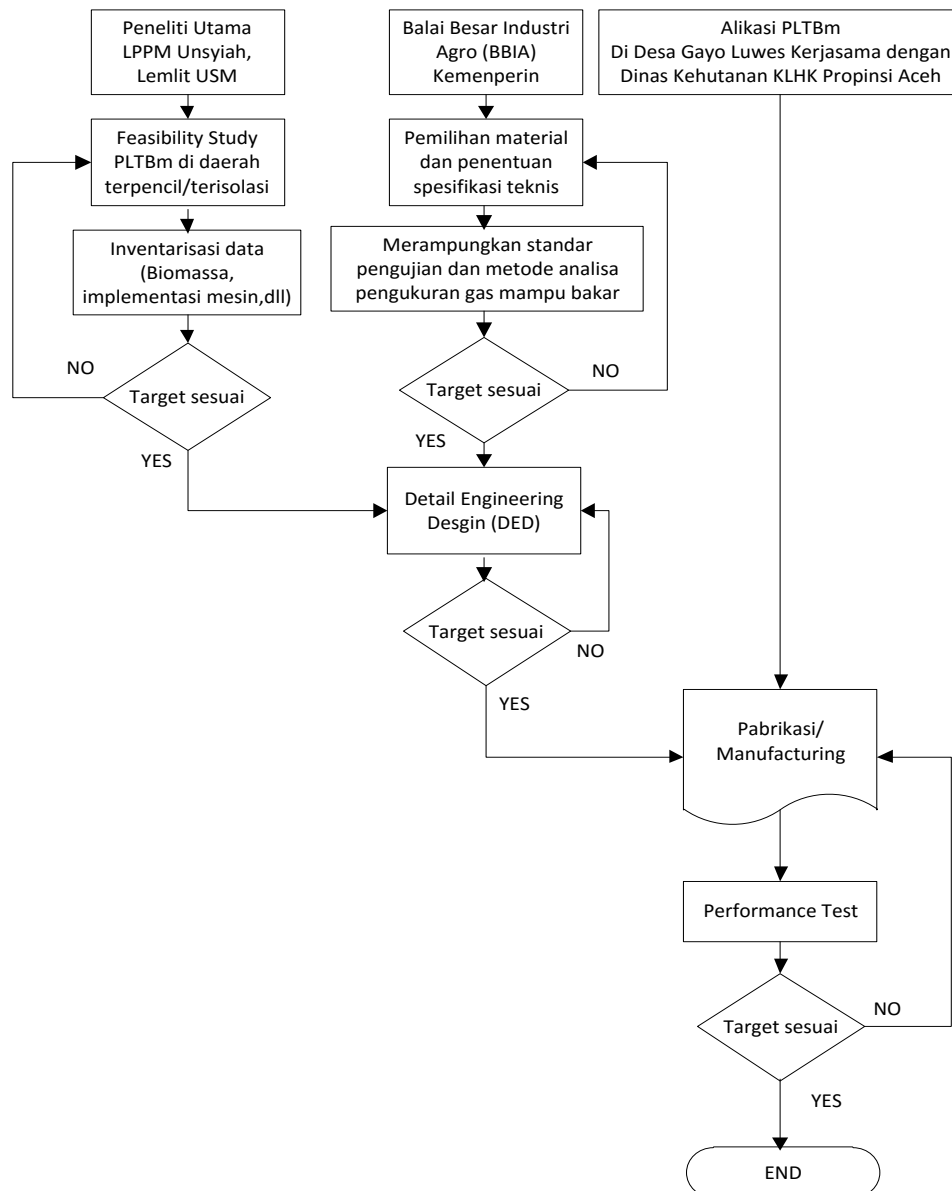
Tabel 1. Spesifikasi mesin gasifikasi/PLTBm yang diproduksi

No	Uraian	Spesifikasi Teknik	Quantity
1	Tipe gasifikasi	<i>Downdraft</i> gasifier	1 set
2	<i>Carbon steel</i> tabung reactor	OD 15 – 20 inchi x 1 mm thickness	1 buah
3	<i>Engine</i>	25 kW	1 buah
4	<i>Blower</i>	Daya ¼ - ½ HP	1 buah
5	<i>H-Beam</i>	Steel, 2 – 4 inchi	20 m
6	<i>Steel plat</i>	50 mm width x 5 mm thickness	20 m
7	Pipa <i>carbon steel</i>	OD 1 – 2 inchi, 1 mm thickness	30 m
8	Kabel listrik	Merk ETERNA	50 m
9	Temperature indicator	Merk SIKA	6 buah
10	<i>Pressure indicator</i>	Merk SIKA	4 buah
11	<i>Control panel</i>	ASTM Standar	1 set
12	Bahan bakar biomassa	Tandan kosong kelapa sawit	500 – 700 kg/hari
13	Temperature Portable	Termometer laser dan digital	1 buah
14	Selang tahan panas	Material tahan panas, $\pm 100^{\circ}\text{C}$	5 m
15	Bag sample gas	ASTM standar	5 buah
16	Pemotong/pencacah biomassa	<i>Chipper for biomass</i> atau parang biasa	1 buah

Alat-alat produksi secara keseluruhan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu : Mesin bubut (*lathe machine*), *Drilling and milling machine*, *Shaping machine* (mesin sekrup), A.C. ARC welder (mesin las listrik), *Bench drilling machine* (mesin bor bangku), Mesin gerinda potong, Bor tangan, dan Gerinda tangan.

Skema penelitian

Secara keseluruhan skema yang dilakukan pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 3. Skema ini menggambarkan kerjasama mitra dan tim peneliti utama dari LPPM Unsyiah dengan mitra dari Balai Besar Industri Agro (BBIA) Kementerian Perindustrian. Secara disain dan perhitungan perancangan dilaksanakan oleh tim Peneliti Utama dari LPPM Unsyiah Banda Aceh, dibantu Peneliti dari Balai Besar Industri Agro (BBIA) dan Lemlit Universitas Serambi Mekkah dan proses pabrikasi dilakukan di Balai Besar Agro Industri (BBIA) Kementerian Perindustrian Bogor.



Gambar 3. Skema pembagian kerja pelaksana peneliti

Perhitungan Energi (NEB, NER, RI), *Life cycle impact Assessment*, *Life cycle cost*

Analisa Konsumsi Energi

Identifikasi dan perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu :

1. Kehilangan panas dari reaktor sampai ke ujung pipa gas buang hasil gasifikasi yang dihasilkan. Pengambil sampel gas mampu bakar hasil gasifikasi dilakukan pada 3 titik, yaitu di sekitar tabung *reactor*, sebelum *blower* dan sesudah *blower*. Selain itu juga diambil data suhu pada *reactor*, sebelum *cooler* dan sesudah *cooler*.
2. Efisiensi *thermal* (panas) proses konversi biomassa menjadi syn-gas (gas mampu bakar).
3. Karakterisasi unjuk kerja mesin meliputi perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik, dan besarnya temperatur *exhaust* gas.

Pada tiap tahapan sub-proses, yang pertama kali dihitung adalah kebutuhan energi pada tiap proses. Kebutuhan energi dapat diperoleh dengan mencari tahu terlebih

dahulu konsumsi bahan bakar. Untuk solar pada transportasi, massa solar yang dipakai dicari menggunakan Persamaan 2.

$$\text{massa solar} = \frac{\text{muatan(kg)} \times \text{jarak(km)} \times \text{konsumsi solar} \left(\frac{\text{km}}{\text{liter.truk}} \right) \times \text{massa jenis} \left(\frac{\text{kg}}{\text{liter}} \right)}{\text{kapasitas angkut} \left(\frac{\text{kg}}{\text{truk}} \right)} \quad \dots (2)$$

Kebutuhan energi bahan bakar dan energi listrik berturut-turut dihitung dengan Persamaan 3 dan Persamaan 4.

$$\text{energi bahan bakar} = \text{massa bahan bakar (kg)} \times \text{nilai kalor} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \quad \dots (3)$$

$$\text{energi listrik} = \text{daya terpasang (watt)} \times \text{waktu (jam)} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ detik}} \quad \dots (4)$$

Analisa energi pada produksi PLTBm diuraikan dari konsep keseimbangan energi, dimana energi masuk sama dengan jumlah energi yang diserap (*energy stored*) dan energi yang keluar sistem, seperti pada Persamaan 5.

$$Energi_{input} = Energi_{stored} + Energi_{output} \quad \dots (5)$$

Dengan anggapan kondisi *steady*, sehingga tidak ada energi yang diserap sistem maka Persamaan 5 dapat disederhanakan menjadi Persamaan 6.

$$Energi_{input} = Energi_{output} \quad \dots (6)$$

Secara umum keseimbangan energi produksi biodiesel seperti diperlihatkan pada Persamaan 7.

$$Energi_{input} = Energi_{proses} + Energi_{output} \quad \dots (7)$$

Dari uraian persamaan-persamaan di atas selanjutnya dapat dijelaskan 3 parameter analisa energi untuk kelayakan produksi dan pengembangan biodiesel, seperti diperlihatkan pada Persamaan 8, 9, dan 10.

$$\text{Net Energy Ratio (NER)} = \frac{Energi_{output}}{Energi_{input}} \quad \dots (8)$$

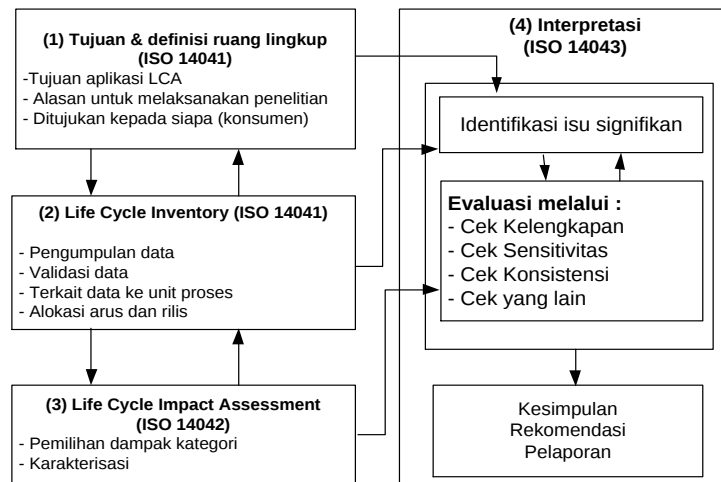
$$\text{Net Energy Balance (NEB)} = Energi_{output} - Energi_{proses} \quad \dots (9)$$

$$\text{Renewable Index (RI)} = \frac{Energi_{renewable}}{Energi_{proses}} \leq 1 \quad \dots (10)$$

Jumlah energi yang dibutuhkan untuk produksi PLTBm relatif terhadap kandungan energinya. Hipotesa ini dapat dievaluasi dengan keseimbangan energi bersih (*net energy balance/NEB*). Bahan bakar minyak mempunyai NEB negatif. Dalam konversi minyak mentah menjadi bensin, dimana *net energy ratio* adalah kurang sama dengan satu ($= < 1$), hal berbeda seharusnya terjadi pada produksi PLTBm. *Renewable index* adalah memperlihatkan seberapa besar nilai energi terbarukan dalam siklus proses produksi PLTBm tersebut, jika dibandingkan terhadap energi dari fosil, semakin besar nilai *renewable index* maka akan semakin *sustainable* prosesnya atau keberlanjutan pengembangan produksi PLTBm tersebut semakin bagus, dan lebih rendah emisi.

Life cycle impact assessment (LCIA)

Penilaian dampak lingkungan mengikuti prosedur standar life cycle assessment (LCA) seperti diperlihatkan pada Gambar 4 yang mengacu pada seri ISO 14000-an.



Gambar 4. Penilaian dampak melalui metode *life cycle assessment* (LCA)

Dengan menggunakan nilai pemakaian energi, banyaknya tiap senyawa yang dilepaskan (emisi) dapat dihitung dengan Persamaan 11.

$$m_{ij} = f_{ij} \times e_i \dots\dots\dots (11)$$

Dimana : m_{ij} : massa senyawa i (emisi) dari sumber energi j pada proses k (kg); f_{ij} : faktor emisi zat i pada kondisi k (kg/kJ); e_j : energi yang dihasilkan sumber energi j pada proses k (kJ).

Dari jumlah senyawa emisi yang dihasilkan, nilai potensi dampak (*impact*) lingkungan yang dapat disebabkan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 12.

$$d_{ijy} = eq_{iy} \times m_{ij} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana : d_{ijy} : potensi dampak y akibat emisi senyawa i pada proses j (kg.y_{eq.}); eq_i : nilai ekuivalensi potensi dampak y akibat senyawa i (kg.y_{eq.}/kg _{i}); m_{ij} : massa senyawa i (emisi) dari bahan bakar j pada proses k (kg _{i}).

Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi dilakukan untuk mengetahui kelayakan kedua teknologi katalis dan non-katalis untuk dikembangkan di Propinsi Aceh. Parameter yang digunakan berupa NPV (*net present value*), IRR (*internal rate of return*), BEP (*break event point*), *benefit cost* (BC) *ratio*.

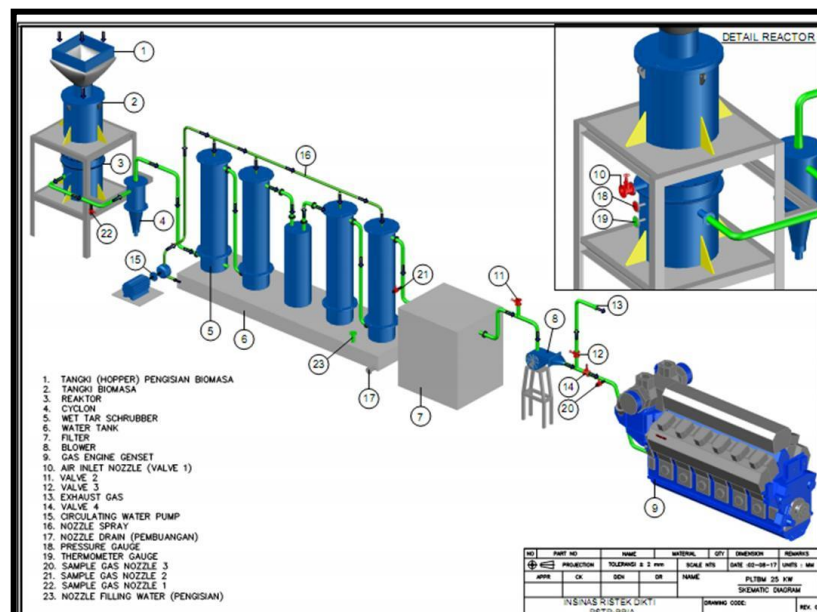
HASIL DAN PEMBAHASAN

Mesin PLTBm yang Dihasilkan

Untuk skala Indonesia belum banyak teknologi mesin Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) karena selama ini masih sebatas gasifier yang menghasilkan gas mampu bakar, sementara penelitian ini dilakukan sampai gas mampu bakar tersebut digunakan sebagai bahan bakar untuk menjalankan gas engine sampai menghasilkan listrik. PLTBm yang diproduksi sudah terkoneksi dengan *gas engine* yang sudah menggunakan *tar wet scrubber*, dan gas filter. Mesin PLTBm terdiri dari *reactor*, *open hopper*, *cooler*, *cyclone*, *pressure indicator* dan *temperature indicator*, *tar wet scrubber*, *gas filter*, *blower*, dan *valve-valve control*. Salah satu terobosan teknologi yang dipecahkan pada penelitian ini adalah mesin PLTBm yang sesuai dengan kondisi-kondisi daerah-daerah terisolasi di Indonesia dengan kinerja mesin yang tinggi *net*

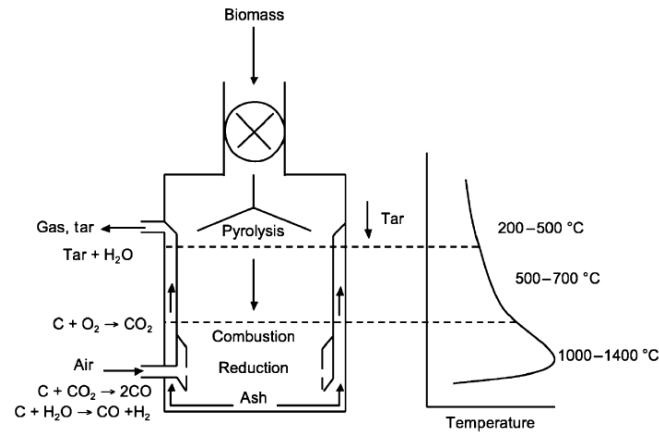
energy ratio (NER), net energy balance (NEB) dan renewable index (RI), namun rendah dalam environmental impact assessment. Analisa life cycle impact assessment/environmental impact assessment melalui pendekatan metode life cycle assessment (LCA) yang mengacu pada standar ISO 14040-an.

Rangkaian PLTBm yang dihasilkan pada penelitian ini seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Teknologi gasifikasi ini bertujuan untuk menghasilkan gas mampu bakar (CO , H_2 , CH_4). Gas mampu bakar inilah yang digunakan untuk menggantikan fossil fuel sebagai bahan bakar engine yang digunakan untuk menghasilkan listrik. Bahan bakar biomassa yang digunakan pada penelitian adalah kayu tandan kosong kelapa sawit. Dengan bentuk dan ukuran bahan bakar yang relatif seragam, kemacetan dapat dihindari (Higman, 2003), sehingga dalam penelitian ini juga menggunakan wood chopper sebagai alat pemotong yang bisa memproduksi keseragaman ukuran biomassa.



Gambar 5. Mesin PLTBm kapasitas 25 kW

Tipe *downdraft gasifier* yang didisain pada penelitian ini merupakan tipe *fixed bed gasifier* dengan arah aliran udara dari bawah ke atas seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Kelebihan dari tipe *downdraft* ini adalah tidak terlalu sensitif terhadap tar dan dapat dengan mudah beradaptasi dengan jumlah umpan biomassa. Gas hasil pembakaran dari tipe *downdraft gasifier* ini bekerja dengan cara dilewatkan pada bagian oksidasi dari pembakaran dengan cara ditarik mengalir ke bawah sehingga gas yang dihasilkan akan lebih bersih karena tar dan minyak akan terbakar (Gambar 6). Hal ini diperkuat dengan data tar yang dihasilkan dari berbagai tipe gasifier yang diproduksi seperti diperlihatkan pada Tabel 4.



Gambar 6. Skema tipe *gasifier downdraft* (Reed dan Das, 1988)

Komponen-komponen Utama Hasil Disain PLTBm Skala 25 kW

Gasifier yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter reaktor 900 mm dan tinggi 1000 mm seperti diperlihatkan pada Gambar 7. *Cyclon* memiliki diameter 580 mm dengan tinggi 1766 mm (Gambar 5). *Gas filter* memiliki panjang 700 mm, tinggi 700 mm dan lebar 700 mm (Gambar 5). *Tar wet scrubber* terdiri dari 5 tabung (diameter tabung 300 mm) yang terangkai satu dengan yang lainnya dengan tujuan untuk menangkap *tar* yang masih terkandung dalam gas mampu bakar yang dihasilkan dari reaktor gasifikasi dengan dimensi total yaitu lebar 1750 mm dan tinggi 1300 mm (Gambar 5).



Gambar 7. Reaktor gasifikasi tipe *downdraft*

Uji Kinerja Mesin PLTBm Skala 25 kW

Untuk memastikan komposisi kandungan gas mampu bakar yang dihasilkan, maka dilakukan pengtesan ke laboratorium, dan hasilnya untuk memastikan komposisi yang paling optimal sesuai dengan *engine* yang akan digunakan, maka dilakukan pengambilan sampel gas mampu bakar dengan harapan gas CO dan H₂ memiliki presentasi paling besar. Persentasi gas mampu bakar yang dihasilkan ini merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan dalam aplikasi PLTBm dalam pemilihan kriteria gas engine yang akan digunakan. Dalam pemilihan *engine* yang disesuaikan dengan hasil gas mampu bakar yang diproduksi oleh PLTBm yang diproduksi. Pada Tabel 2 diperlihatkan jenis gas mampu bakar yang dibutuhkan oleh *engine* yang akan digunakan. Pada kelanjutan penelitian berikutnya akan dianalisa komposisi gas mampu bakar yang dihasilkan, jika hasil pengtesan dilaboratorium diperoleh bahwa gas mampu bakar yang paling dominan adalah gas CO dan H₂, maka *engine* yang digunakan adalah *gas engine* yang cocok untuk CO dan H₂. Karena kalau di biogas, gas

mampu bakar yang dominan CH₄, maka gas engine yang digunakan adalah yang cocok untuk CH₄.

Tabel 2. Kandungan tar yang dihasilkan dari berbagai tipe gasifier yang Diproduksi (Milne dan Avans, 1998)

Tipe Gasifier	Rata-rata konsentrasi tar dalam gas mampu bakar yang dihasilkan (g/Nm ³)	Persentase tar dari Biomassa yang digunakan
<i>Downdraft</i>	< 1	< 2
<i>Fluidized bed</i>	10	1 – 5
<i>Updraft</i>	50	10 – 20
<i>Entrained flow</i>	Diabaikan	

Analisa Energi, Ekonomi, dan Life Cycle Assessment

Analisis pengembangan energi terbarukan harus memperhatikan rasio energi/*net energy ratio* atau dengan kata lain nilai perbandingan energi yang dihasilkan terhadap energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi tersebut. Berikutnya adalah *renewable index* (RI) yang menggambarkan seberapa besar energi terbarukan yang digunakan dalam menghasilkan energi tersebut. RI dianggap sebagai salah satu parameter keberlangsungan dalam pengembangan energi terbarukan. Selanjutnya dilakukan evaluasi energi dengan prinsip keseimbangan energi bersih (*net energy balance*/NEB). Hasil perhitungan pada Penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa menghasilkan nilai *net energy balance*, *net energy ratio*, dan *renewable index* secara berurutan sebesar 30 MJ/kWh-listrik; 0,89; dan 0,76. Pada PLTBm nilai RI nya hampir mendekati 1, karena penggunaan solar hanya pada *starting point* saja, begitu juga penggunaan listrik hanya pada *blower* sebagai pemancing awal untuk menarik gas mampu bakar dari reaktor. Nilai NER pada PLTBm masih kurang dari 1, karena masih banyak *losses* panas (energi) yang terbuang ke lingkungan. Hal ini terjadi karena dinding reaktor dan perpipaan gas mampu bakar belum dilapisi dengan isolator.

Dalam kajian ekonomi, jika harga biomassa secara berurutan mulai dari tempurung kelapa, kulit kemiri, dan tongkol jagung adalah Rp.550,- per kg, Rp.600,- per kg, Rp. 505,- per kg. Dan jika dikalikan dengan laju penggunaan biomassa terhadap produksi listrik yang rata-rata sekitar 1,4 s.d 2 kg/kWh-listrik, maka didapat nilai Harga Pokok Produksi (HPP) secara berurutan, yaitu sekitar Rp.1.860 per kWh. Jika dibandingkan dengan biaya pokok produksi PLTD di Propinsi Aceh sebesar Rp. 3.300 per kWh maka listrik yang berasal dari biomassa jauh lebih hemat.

Perhitungan emisi gas rumah kaca (ERK) didekati dengan menggunakan Metode *Life cycle Assessment* ISO 14040-an. Nilai emisi GHG untuk Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa adalah sebesar 0.03 kg-CO₂eq/MJ . Siregar *et al.* (2015) menyebutkan bahwa produksi biodiesel secara katalis dapat menurunkan emisi pemanasan global 37,83 % dibandingkan terhadap bahan bakar minyak (solar). Dalam kancah nasional kegiatan ini akan mendukung target pemerintah untuk mencapai bauran energi terbarukan sampai 23 % pada tahun 2025. Kegiatan ini juga sejalan dengan pencapaian produksi listrik 35.000 MW sampai tahun 2019.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dihasilkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin gasifier yang dirancang berupa tipe *downdraft* dengan kapasitas terpasang 25 kW, dengan rangkaian PLTBm yang dirancang adalah *tar wet scrubber*, gas filter dan gas engine. Secara keseluruhan mesin PLTBm yang dirancang terdiri dari tangki pengisian biomassa, tangki biomassa, reaktor tipe *downdraft*, *cyclon*, *tar wet scrubber*, *Water tank*, Gas filter, *Blower*, Gas engine kapasitas 25 kW, *Air inlet nozzle*, *Connection pipe*, *Termometer indicator*, *Exhaust gas*, *Pressure indicator*.
2. Pengurangan nilai *tar* selain menggunakan karbon aktif, juga menggunakan sistem perangkat kotoran gas (*wet scrubber*). Gasifier yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter reaktor 900 mm dan tinggi 1000 mm. *Cyclon* memiliki diameter 580 mm dengan tinggi 1766 mm. *Gas filter* memiliki panjang 700 mm, tinggi 700 mm dan lebar 700 mm. *Tar wet scrubber* terdiri dari 5 tabung (diameter tabung 300 mm) yang terangkai satu dengan yang lainnya dengan tujuan untuk menangkap *tar* yang masih terkandung dalam gas mampu bakar yang dihasilkan dari reaktor gasifikasi dengan dimensi total yaitu lebar 1750 mm dan tinggi 1300 mm
3. Mesin PLTBm yang dirancang menghasilkan nilai *net energy balance* sebesar 36 MJ/kWh-listrik, *net energy ratio* sebesar 1,04, dan *renewable index* sebesar 0,76.
4. Nilai emisi GHG untuk Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa adalah sebesar 0.03 kg-CO₂eq/MJ.
5. Nilai HPP listrik untuk Mesin PLTBm sebesar Rp.1.860,-/kWh, dimana sebagai pembandingan nilai HPP PLTD sebesar Rp. 3.300,-/kWh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Kemristek-Dikti melalui Hibah Penelitian INSINAS Pendanaan tahun 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel Y.A. dan Boles M.A., 2006, *Thermodynamics an Engineering Approach*. Fifit Edition in SI Unit, Singapore, Mc Graw Hill.
- Cengel Y.A., 2003, *Heat Transfer a Practical Approach*, Second Edition, Singapore, Mc Graw Hill.
- Cowell S.J. 1999. *Use of Environmental Life Cycle Assessment to Evaluate Alternatif Agricultural Production Systems*. Proceeding 52nd Plant Protection Conference: 40-44. New Zealand.
- Harsono, S.S, Siregar, K. 2015. Sisbudi Peningkatan Kinerja Mesin Diesel Dengan Produksi Biodiesel Dari Kelapa (Coconut Nufera) dan Unjuk Kinerjanya Berbasis Transesterifikasi Dengan Sistem Injeksi Langsung. *Jurnak RONA Teknik Pertanian*. Vol.8, No.2.
- Higman C. dan Van der Berg M., 2003, *Gasification*, Elsevier Science, USA
- Kunii, Daizo, O. Levenspiel, 1977, *Fluidization Engineering*, John Willey & Sons, Inc, New York.
- Moran J.M. dan Shapiro N.H., 1988, *Fundamental of Engineering Thermodynamics*, New York, John Willey & Son, Inc.
- Perry R. H. dan Green D.W., 2007, *Perry's Chemical Engineers Handbook*, 8th ed, page 6-9, 6-39, Mc Graw Hill Book Company, New York
- Pranolo H., 2010, Potensi Penerapan Teknologi Gasifikasi Tongkol Jagung Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Pedesaan, Dalam Seminar Nasional Energi Terbarukan Indonesia di Universitas Jendral Sudirman Purwokerto.
- Reed T.B. dan Das A. 1988. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*, Solar Energy Research Institute, Cole Boulevard, Golden, Colorado.
- Siregar, K. 2014. Rancang Bangun Gasifier *Downdraft* dan Aplikasi PLT-Biomassa Kapasitas 50 kW Untuk Daerah Terisolasi Dari Jaringan Listrik PLN. Seminar Nasional FTIP UNPAD PERTETA HIPI 2014. "Peningkatan Peran Teknik dan Informatika Pertanian Dalam Rangka Mewujudkan Kedaulatan Pangan dan Energi Berkelanjutan" 11-12 November 2014, Jatinangor Bandung-Jawa Barat
- Siregar, K., Sholihati, Syafriandi. 2016. *The Potential Application of Gasification for Biomass Power Generation in Isolated Area from National Electricity Company in Indonesia. International Journal of Engineering Research and Application*. Vol.6, No.6
- Siregar, K., Tambunan, A.H., Irwanto, A.K., Wirawan, S.S., Araki, T. 2015. A Comparison of Life Cycle Assessment on Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and Physic nut (*Jatropha curcas* Linn.) as Feedstock for Biodiesel Production in Indonesia. *Journal of Energy Procedia*, Vol. 65 : 170-179.
- Stoecker W.F. 1987. *Design of Thermal System*, New York, Mc Graw Hill, Inc.