

# Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di Kota Pekanbaru

## Design of Municipal Solid Waste Power Plant in Pekanbaru

Nanda Putri Miefthawati<sup>1\*</sup>, Susi Afriani<sup>2</sup>, Gilang Saputra<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Elektro, UIN Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. H.R. Soebrantas Km. 15 Panam, Pekanbaru

<sup>2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro, UIN Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. H.R. Soebrantas Km. 15 Panam, Pekanbaru

nandamiefthawati@uin-suska.ac.id<sup>1\*</sup>, susi.afriani@uin-suska.ac.id<sup>2</sup>, gembn007@gmail.com<sup>3</sup>

**Abstrak** – Pekanbaru merupakan salah satu kota di Provinsi Riau yang selalu mengalami peningkatan penduduk sebesar 9,96% tiap tahunnya. Bertambahnya jumlah penduduk juga menyebabkan bertambahnya jumlah sampah. Potensi sampah di Kota Pekanbaru dapat mencapai nilai sebesar 378,07 ton/hari dengan komposisi sampah anorganik sebesar 44%. Sampah anorganik yang dihasilkan berpotensi sangat besar apabila dikonversi menjadi energi listrik menggunakan konversi termokimia gasifikasi. Adapun tujuan penelitian ini yaitu merancang Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) serta menganalisa perancangan dari aspek ekonomi. Penelitian ini dapat menghasilkan perancangan 11 unit gasifier dengan masing-masing unit dapat menghasilkan energi listrik sebesar 4584,58 kW atau 39,06 MWh/tahun listrik. Analisa ekonomi dilakukan menggunakan metode Life Cycle Cost (LCC) menghasilkan Net Present Value (NPV) sebesar Rp 9,481,791,769,570, Internal Rate of Return bernilai 10,92 % dan waktu pengembalian modal selama 12,86 tahun biaya produksi listrik dari perancangan PLTSA sebesar Rp. 765,8/kWh.

**Kata Kunci** : Analisa Ekonomi, Biomassa, Gasifikasi, Perancangan, Sampah Anorganik.

**Abstract** – Pekanbaru citizens can produced waste of 378,07 ton / day with composition of inorganic waste by 44%. The inorganic waste have potentially very large when converted into electricity using thermochemical gasification conversion.. Pekanbaru increasing electricity demand by 9.96%. Therefore, the using of inorganic waste as fuel for power plants need to be explored. The purpose of this study was to designed of Municipal solid waste power plant from inorganic waste in the city of Pekanbaru and economic aspects from the designed. This study Resulted of 11 gasifier units with each unit can produced electrical energy equal to 4584,58 kW or 39,06 MWh / year of electricity. Economic analysis conducted using Life Cycle Cost (LCC) method resulted in Net Present Value (NPV) of Rp 9,481,791,769,570, Internal Rate of Return was 10,92 % and payback period of 12,86 years of electricity production cost from the designed Rp. 765,8 / kWh.

**Keywords** : Biomass, Design, Economic Analyze, Gasification, Inorganic Waste.

### 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara ke-5 dengan jumlah penduduk terbanyak di dunia yaitu sebesar 258 juta jiwa setelah China, India, Uni Eropa, dan Amerika. Diperkirakan jumlah penduduk Indonesia akan terus meningkat sebanyak 52%. Sejalan dengan peningkatan jumlah

penduduk maka akan berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah konsumsi energi. Peran energi sangat penting bagi kehidupan manusia seperti untuk bahan bakar pada kendaraan dan untuk pembangkitan listrik, maka dapat diartikan bahwa semakin maju sebuah negara maka semakin maju pula teknologi yang digunakan dan semakin banyak energi yang dibutuhkan [5].

Meningkatnya jumlah penduduk tidak hanya berdampak pada jumlah konsumsi energi tetapi juga meningkatnya volume sampah, banyaknya sampah yang dihasilkan oleh masyarakat baik dari sektor rumah tangga maupun industri tidak diiringi oleh pengolahan yang baik sehingga membuat sampah meumpuk di Tempat Pembuangan Sampah atau TPA. Banyaknya jumlah tumpukan sampah tentu berdampak pada kesehatan dan lingkungan.

Pekanbaru merupakan salah satu kota di Provinsi Riau yang selalu mengalami peningkatan penduduk tiap tahunnya, tercatat dalam kurun waktu 5 tahun terakhir jumlah penduduk Pekanbaru meningkat sekitar 100 ribu jiwa dari jumlah 897.680 jiwa pada tahun 2010 meningkat menjadi 1.046,566 jiwa pada tahun 2016 [2].

Dengan meningkatnya jumlah penduduk kebutuhan akan listrik tentu meningkat, tercatat pada tahun 2015 jumlah kebutuhan listrik di Pekanbaru sebesar 1899,99 GWh dan akan terus tumbuh sebesar 446,62 GWh pada tahun 2024 dengan beban puncak pada tahun 2015 sebesar 281,68 MW dan akan terus tumbuh menjadi 662,18 MW pada tahun 2024 [2].

Dan dengan jumlah penduduk 1.046,566 jiwa, penduduk Pekanbaru dapat menghasilkan 332,54 ton/hari sampah jadi rata-rata sampah yang dihasilkan yaitu 0.3 kg/orang/hari. Dengan perbandingan 56% sampah organik dan 44% sampah anorganik atau berjumlah 186,21 ton/hari sampah organik dan 146,31 ton/hari sampah anorganik [5].

Pihak pemerintah kota Pekanbaru melalui pengelola Dinas Kebersihan dan Pertamanan sebenarnya telah melakukan pengolahan pada sampah yang terdapat di TPA Muara Fajar namun pengolahan terbatas pada sampah organik dengan pengolahan bank sampah dan rumah kompos dengan jumlah sampah yang diolah sebesar 1,5 – 1,9 ton/hari. Sementara sampah anorganik tidak mengalami pengolahan. Padahal seperti yang kita ketahui apabila tidak dilakukan pengolahan atau pemanfaatan jenis sampah anorganik akan berbahaya bagi lingkungan karena jenis sampah ini memerlukan waktu yang sangat lama untuk mengurai sempurna. Dengan kurangnya pemanfaatan dari pihak pengelola TPA Muara Fajar sebenarnya jenis sampah anorganik di Pekanbaru yang memiliki jumlah sebesar 146,31 ton/hari memiliki potensi yang sangat besar apabila di konversi menjadi energi listrik.

Mengkonversi sampah menjadi listrik dengan sistem termokimia dapat dibagi menjadi dua teknologi yaitu pembakaran langsung dan gasifikasi. Pembakaran langsung yaitu pembakaran sejumlah sampah yang digunakan untuk pemanasan boiler selanjutnya menghasilkan steam yang digunakan untuk menggerakkan turbin. Sedangkan gasifikasi yaitu proses konversi bahan bakar yang mengandung karbon menjadi gas pempan bakar seperti campuran karbon monoksida (CO), Hidrogen (H<sub>2</sub>), dan Methan (CH<sub>4</sub>) yang juga biasa disebut dengan nama *syngas* atau sintetik gas yang dapat digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik, komposisi gas ini bergantung dari unsur dari suatu biomassa.

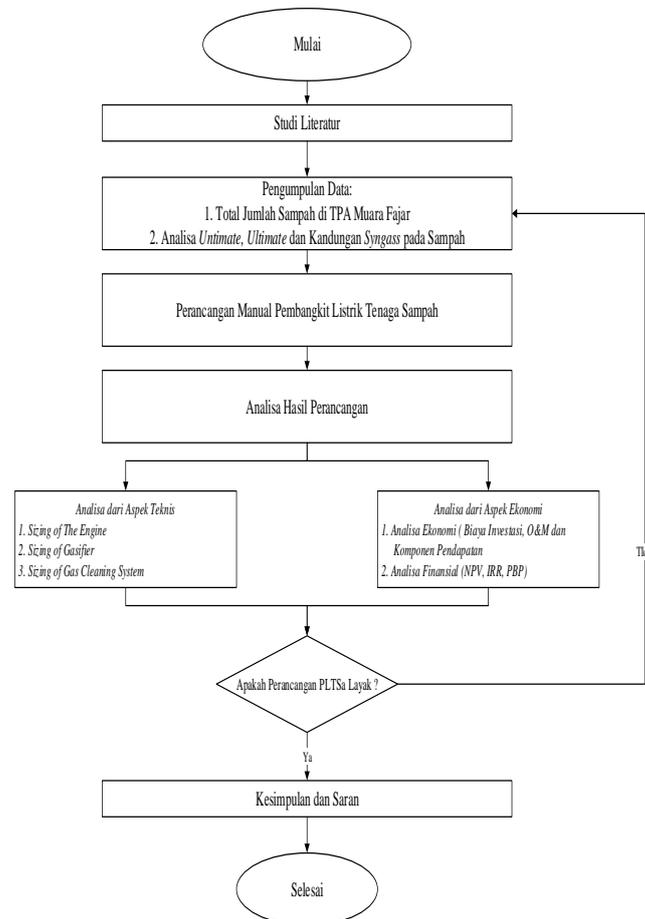
Teknologi pembakaran gasifikasi merupakan suatu teknologi bersih dibandingkan dengan pembakaran langsung karena pembakaran secara gasifikasi terjadi pada sebuah reaktor tertutup menyebabkan polusi dari pembakaran tidak terlepas bebas di udara dan sisa akhir dari proses pengolahannya sebagian berupa sistetik gas (*syngas*) serta kerak logam yang bukan bahan berbahaya beracun (B3), sedangkan pembakaran dengan boiler polusi dari proses pembakarannya langsung dilepaskan ke udara.

Oleh karena itu berdasarkan besarnya potensi energi listrik yang dihasilkan oleh sampah anorganik dengan menggunakan metode konversi termokimia dan amannya metode konversi ini bagi lingkungan maka perlu adanya pengaplikasian dalam pemanfaatan energi yang tepat. Salah satu pengaplikasiannya yaitu dengan perancangan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA). Dengan memanfaatkan sampah anorganik yang terdapat pada tempat pembuangan sampah akhir TPA Muara Fajar diharapkan dapat menutupi jumlah kekurangan energi yang disebabkan meningkatnya jumlah penduduk yang ada di Pekanbaru.

Berdasarkan penjelasan di atas untuk mengatasi masalah semakin menipisnya ketersediaan listrik yang disebabkan meningkatnya jumlah penduduk serta pengolahan sampah anorganik yang belum maksimal, maka penelitian ini dilakukan dengan judul “**Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Di Kota Pekanbaru.**”

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan sebagai berikut yaitu:



Gambar 1 Diagram Tahapan Penelitian

Berdasarkan diagram di atas, tahapan penelitian terdiri dari:

### 1. Studi literatur

Beberapa teori pendukung yang akan digunakan pada penelitian ini antara lain kandungan proximate pada sampah anorganik, *gasifikasi*, faktor-faktor yang mempengaruhi gasifikasi, perhitungan dasar gasifikasi, jenis-jenis reaktor gasifier, komponen-komponen pada gasifier. Studi literatur dilakukan untuk membantu mengetahui data apa saja yang akan diperlukan dalam penelitian serta bagaimana cara pengolahan data tersebut.

### 2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data pendukung untuk melakukan analisis tentang pemanfaatan sampah anorganik di TPA Muara Fajar Kota Pekanbaru yang digunakan sebagai bahan baku pembangkit listrik tenaga sampah. Data yang akan dibutuhkan antara lain:

1. Data pendukung mengenai potensi jumlah timbulan sampah di TPA Muara Fajar Kota Pekanbaru sebagai studi kasus bahan acuan perhitungan pembangkitan energi listrik.
2. Data mengenai komposisi sampah yang ada di TPA Muara Fajar Kota Pekanbaru sehingga didapatkan jumlah potensi sampah anorganik.
3. Data-data literatur mengenai teori-teori analisa konversi termokimia gasifikasi dari sampah menjadi energi listrik
4. Data nilai kandungan *Proximate*, *Ultimate* dan Komposisi *Syngas* pada sampah

### 3. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Secara Manual

Pada penelitian ini dilakukan perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) berdasarkan aspek teknik dan ekonomi.

#### Aspek Teknis

Adapun Beberapa Parameter aspek teknik yang dihitung pada perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) adalah sebagai berikut:

1. *Sizing of Engine*, Pada tahapan ini menentukan ukuran gas engine yang digunakan serta dilakukan perhitungan output energi dari perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA).
2. *Sizing Of Gasifier*, Pada tahapan ini dilakukan perhitungan parameter-parameter dan ukuran Reaktor Gasifier. Pada penelitian ini jenis gasifier yang digunakan yaitu *gasifier downdraft* karena pada jenis gasifier ini merupakan pilihan terbaik dalam penguasaan *gas engine*. Jenis gasifier *downdraft* sendiri memiliki range output energi sebesar 10 kW- 2 MW .
3. *Sizing of Gas Cleaning Sytem*, Pada tahapan ini dilakukan perancangan unit pembersih gas untuk menentukan ukuran serta parameter-parameter dalam unit pembersih gas.

#### Aspek Ekonomi

1. *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)* merupakan analisa biaya menggunakan metode *life cycle cost analysis (LCCA)* terdiri dari biaya investasi awal pembangkitan, biaya operasional pemeliharaan (O&M) selama umur proyek yaitu 25 tahun.
2. *Net Present Value (NPV)* merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* sebagai diskon faktor, atau dengan kata lain merupakan arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang didiskontokan pada saat ini. Untuk menghitung NPV diperlukan data tentang perkiraan biaya investasi, biaya operasi, dan pemeliharaan serta perkiraan manfaat/*benefit* dari proyek yang direncanakan. Jadi perhitungan NPV mengandalkan pada teknik arus kas yang didiskontokan. Jika nilai NPV positif atau besar dari nol maka investasi dikatakan layak dan sebaliknya apabila nilai NPV negatif atau kecil dari nol maka investasi tidak boleh dilakukan.
3. *Internal Rate of Return (IRR)* merupakan nilai *discount rate* yang membuat nilai NPV suatu proyek sama dengan nol. Berdasarkan perhitungan IRR, apabila nilai IRR lebih besar daripada tingkat suku bunga relevan (tingkat keuntungan yang disyaratkan), maka investasi dikatakan menguntungkan. Sebaliknya jika nilai IRR lebih kecil tingkat bunga relevan maka investasi dikatakan merugikan dan tidak layak untuk dilaksanakan.
4. *Pay Back Period (PBP)* merupakan jangka waktu pengembalian investasi yang dikeluarkan melalui keuntungan – keuntungan yang diperoleh dari suatu proyek. Masa pengembalian investasi tercapai saat nilai NPV kumulatif berubah dari negatif menjadi positif. PBP dihitung setelah terlebih dahulu mendiskonkan nilai pendapatan bersih, kemudian perhitungan nilai pendapatan bersih dilakukan secara

kumulatif dari tahun ke tahun. Pada saat pendapatan bersih bernilai positif maka pada saat itu investasi sudah kembali.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Hasil Perhitungan dan Analisis Aspek Teknis

Rangkuman dari perhitungan analisa dari aspek teknis Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) dari sampah anorganik di Kota Pekanbaru dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 1 Hasil Perhitungan Analisa Teknis

No	Deskripsi	Simbol	Hasil	Satuan
<b>Sizing Of Engine</b>				
1	<i>Low Heating Value Gas</i>		6,642	MJ/Nm <sup>3</sup>
2	<i>Maximum air-producer gas intake</i>	V <sub>ag</sub>	0,885	m <sup>3</sup> /s
3	<i>Maximum Real Producer Gas Intake</i>	V <sup>n</sup> <sub>ge</sub>	0,421	m <sup>3</sup> /s
4	<i>Real Produce Gas Intake</i>	V <sup>r</sup> <sub>ge</sub>	0,337	m <sup>3</sup> /s
5	<i>Normal Volume Rate of Producer Gas</i>	V <sub>ge</sub>	0,343	Nm <sup>3</sup> /s
6	<i>Termal Power</i>	P <sub>g</sub>	2270	kW
7	<i>The Maximum Mechanical Output</i>	P <sub>m</sub>	978,37	kW
8	<i>The Maximum Electrical Output</i>	P <sub>e</sub>	416,78	kW
<b>Sizing of Gasifier</b>				
8	<i>Thermal Power Consumption (Full Load)</i>	P <sub>g</sub> □	3242,85	kW
9	<i>LHV (Low Heating Value)</i>		18428,76	kJ/kg
10	<i>Biomass Consumption</i>	m <sub>g</sub>	0,176	kg/s
11	<i>Specific Fuel Consumption</i>	sfc	1,52	kg/kWh
12	<i>Mass flow of MSW</i>	m <sub>t</sub>	1,92	kg/s
13	<i>Gas Production From Gasifier</i>	V <sub>gg</sub>	1,32	Nm <sup>3</sup> /s
14	<i>Specific Gasification Rate</i>	SGR	1218,46	kg/h m <sup>2</sup>
15	<i>Total Number of Gasifier</i>	n <sub>g</sub>	11	
16	<i>Cross Sectional Area</i>	A <sub>h</sub>	0,528	m <sup>2</sup>
17	<i>Diameter of air inlet</i>	d <sub>t</sub>	818	mm
18	<i>Tinggi dari Nozzle plane</i>	H	40	cm
19	<i>diameter of fire box</i>	d <sub>r</sub>	1,71	m
20	<i>Nozzle diameter</i>	d <sub>n</sub>	79,3	mm

22	Diameter <i>Gasifier</i>	D	4,97	m
23		H	8,2	m
<b>Sizing of Gas Cleaning System ( Cyclone)</b>				
24	<i>Volume Flow Rate</i>	$V_c$	Nilai	Satuan
25	<i>Gas Velocity</i>	$V_{gd}$	1,14	$m^3/s$
26	Diameter inlet cyclone	Bc	65,1	m/s
27	Diameter gas outlet	De	15	cm
28	Tinggi dari inlet cyclone	Hc	30	cm
29	Tinggi cyclone	Lc	30	cm
30	Tinggi antara gas inlet dan outlet	Sc	120	cm
31	Tinggi cyclone	Zc	7,5	cm
32	Diameter outlet dust	Je	120	cm
33	<i>Cyclone Inlet Velocity</i>	$V_{ic}$	15	cm
<b>Sizing of Gas Cleaning System ( Venturi Scrubber)</b>				
34	Nilai Kapasitas		1908 / 1476	$m^3/h$
35	<i>Inlet X Outlet</i>		13 x 13	
36	<i>Separation diameter</i>	B	1,118	m
37	<i>Separation</i>	$C_1$	1,981	m
38	<i>Vent</i>	$C_2$	2,002	m
39	Tinggi keseluruhan Vent	$C_3$	2,189	m
40	Tinggi keseluruhan	$C_4$	2,387	m
41	Lebar keseluruhan	D	2,019	m
42	Lebar dari venturi	E	0,711	m
43	<i>Separation cone</i>	F	0,394	m
44	Pipa hisap	G	0,076	m
45	Pipa air	H	0,050	m
46	<i>Venturi depth</i>	J	0,431	m
<b>Sizing of Gas Cleaning System ( Pump of Venturi Scrubber)</b>				
47	<i>Water Flow Rate</i>	$Q_L$	0,0035	$m^3/s$

48	<i>Water Velocity</i>	$V_w$	1,78	m / s
49	Density dari air	$\rho_w$	976,78	
50	<i>Kinematic Velocity</i>	V	1,001	m <sup>2</sup> /s
51	Bilangan <i>Reynolds</i>	Re	89	
52	<i>Friction Factor</i>	$f$	0,71	
53	<i>Frictional Pressure Drop</i>	$\square P_{ff}$	109575,18	N/m <sup>2</sup>
54	<i>Pump Power</i>	$P_{Pump}$	767,02	kW
<b><i>Sizing of Gas Cleaning System ( Fine Filter)</i></b>				
55	<i>Velocity Dari Gas Pada Fine Filter</i>	$V_{gf}$	0,05	m/s
56	<i>Diameter Of Filter</i>	Df	2,93	M
<b><i>Sizing of Gas Cleaning System ( Bag House)</i></b>				
57	<i>Gross Cloth Area</i>	$A_c$	112333	cm <sup>2</sup>
58	<i>The bag Height</i>	$H_{cb}$	1173,80	Cm

Gas Engine				
1	Jenis <i>Gas Engine</i>		TCG 2020 V16	
2	Bahan Bakar		Syngass	
3	<i>Electrical Output</i>	$P_{out}$	1560	Kw
4	<i>Electrical Efficiency</i>	$\eta_{el}$	42,6	%
5	Frekuensi		50	Hz
6	Jumlah <i>Gas Engine</i>		11	Unit
7	Produksi Listrik Harian	E	110,029.92	kWh/hari
8	Produksi Listrik Tahunan	$E_y$	39,060,621.6	kWh/tahun
9	Hari Operasi		355	Hari
10	Total Kapasitas Produksi Listrik	Pel	4584.58	kW

Dari hasil perhitungan teknis pembangkit listrik tenaga sampah di Pekanbaru (PLTSA) menghasilkan energi sebesar 416,78 kW atau sebesar 39,06 GWh/tahun listrik ini dapat mencukupi 2% dari total kebutuhan energi listrik di Pekanbaru, walaupun hanya memenuhi sedikit dari total kebutuhan energi listrik namun perlu di ingat bahwa PLTSA tergolong sebagai *Renewable energy* yang ketersediaan bahan bakunya selalu ada, mengingat pada saat ini kita sedang menghadapi krisis energi maka pembangunan PLTSA dapat dipertimbangkan.

### Hasil Perhitungan dan Analisis Aspek Ekonomi

Berikut ialah rangkuman dari analisa aspek ekonomi pada PLTSa dari sampah Anorganik di Kota Pekanbaru dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Aspek Ekonomi

NO	Deskripsi	Hasil Perhitungan
<b>Biaya Investasi</b>		
1	Investasi <i>Gasifier</i>	Rp. 314,272,587,296.8
2	Investasi Lahan	Rp. 62,700,000
<b>Total Biaya Investasi</b>		Rp. 314,335,287,296.8
<b>Biaya Operasional dan Maintainance (O&amp;M)</b>		
1	O&M <i>Gasifier</i>	Rp. 12,570,903,491.872 /tahun.
2	O&M <i>Terkait</i>	Rp. 246,980,493.76 /tahun
4	Biaya Produksi	Rp. 25,391,295,477.504/tahun
5	O&M Gas Engine 6 x 1,2 MW	Rp. 4,312,292,624.64 /tahun
6	Biaya Produksi Listrik	Rp. 765,8 /kWh
<b>Total Biaya O&amp;M</b>		<b>Rp. 39,310,113,949.78 /tahun</b>
<b>Biaya Pendapatan</b>		
1	Penjualan listrik	Rp. . 56,637,901,320 /tahun
<b>Total Biaya Pendapatan</b>		<b>Rp. . 56,637,901,320/tahun</b>
<b>Kelayakan Finansial</b>		
1	Usia Proyek	25 tahun
2	Faktor Suku Bunga	8%
3	<i>Net Present Value (NPV)</i>	Rp. 9.481.791.769.570
4	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	10,92 %
5	<i>Payback Periode (PBP)</i>	12,86 tahun

Analisis ekonomi dari perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) menunjukkan bahwa pembangunan PLTSa layak dilakukan karena NPV dari berjumlah Rp. 9.481.791.769.570 menunjukkan nilai yang lebih besar dari 0, IRR juga menunjukkan nilai lebih besar dari 0 yaitu sebesar 10,29%, dan PBP bernilai 12,86 tahun menunjukkan kurang dari umur proyek selama 25 tahun.

#### 4. Kesimpulan

Melalui Konversi Termokimia Gasifikasi dengan menggunakan jenis gasifier Downdraft, sampah anorganik di TPA Muara Fajar Kota Pekanbaru dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan 166,350 Kg/hari menghasilkan potensi energi listrik sebesar 110,029.92 kWh/hari potensi tersebut mempunyai daya listrik sebesar 4584,58 kW. Pengkonversian sampah anorganik menjadi bahan baku dari PLTSa dengan asumsi nilai ekonomi investasi utilitas selama 25 tahun dan tingkat suku bunga sebesar 8% arus kas bersih yang didapat sebesar Rp. 26,761,821,513/tahun dengan biaya produksi energi sebesar Rp. 765,8/kWh. Hasil dari analisa kelayakan finansial di peroleh nilai NPV sebesar Rp. 9.481,791,769,570, IRR sebesar 10,92% dan PBP selama 12,86 tahun.

#### 1. Referensi

- [1] Azmi, Nugroho, dan Sarwono. 2015. Analisis Teknik dan Ekonomi Pemanfaatan Biomassa sebagai Pembangkit Energi Listrik di Surabaya. Teknik POMITS Vol 1 No 1.
- [2] Badan Pusat Statistika. 2016. Kota Pekanbaru. <https://riau.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/233> (diakses 30 November 2017).

- [3] *Development Enviroenergy Services Ltd.* 2016. *Minumum Quality Standards For Biomass Gasification Plants*. New Delhi: DESL.
- [4] E. Konda, Ramzy. A. Sulaiman, Shaharin. And Ariwahjoedi, Bambang. 2014. *Design and Development of Laboratory Scale Updraft Gasifier for Gasification of Oil Palm Fronds*. *International Journal of Scientific Research*. ISSN 1992-1454.
- [5] Fadli, Muhammad. 2017. *Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) On-Grid System dari Sampah Organik Di Kota Pekanbaru*. Tugas Akhir UIN SUSKA. Pekanbaru.
- [6] *Food and Agriculture Organization*. 1986. *Wood gas as engine fuel, Forest Industries Division; FAO Forestry Department*. Roma: FAO
- [7] Faridha, Budi P, dan Nina K. 2015. *Potensi Pemanfaatan Sampah Menjadi Listrik di TPA Ciliwong Kota Serang Provinsi Banten*. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*. Vol 14 No 2 Desember 2015. ISSN 1978-2365.
- [8] Garcia, Adriana Perez. 2014. *Techno Economic Feasibility Study of a Small Scale Biogas Plant for Treating Market Waste in the city of El Alto*. Tesis. KTH School of Industrial Engineering and Management.
- [9] Gemini, Ismatullah. 2017. *Analisa Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga BIOGAS (PLTBG) Skala Rumah Tangga Dari Sampah Organik Perumahan Sebagai Sumber Energi Listrik*. UIN SUSKA. Pekanbaru
- [10] Guswendar. 2012. *Karakteristik Fasifikasi Pada Updraft Double Gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.
- [11] *The International Renewable Energy Agency* .2009. *Renewable Power Generation Costs In 2012 and 2017*. Abu Dabhi: IRENA.
- [12] Kivumbi, Bernard. Olwa, Joseph. Martin, Andrew. Dan Menya, Emmanuel. 2015. *Techno-Economic Assessment of Municipal Solid Waste Gasification for Electricity Generation: a Case Study of Kampala City Uganda*. *Agric Eng Int: CIGR Journal Open*. Vol 17 No 4.
- [13] Mandwe, D. S., S. R. Gadge, A. K. Dubey, and V. P. Khambalkar. 2006. *Design and development of a 20kW cleaning and cooling system for a wood-chip gasifier*. *Journal of Energy in Southern Africa*, 17(4): 65-69
- [14] *National Renewable Energy Laboratory (Nrel)*. 1974. *Biomass Gasification Technology Assesment*. 2012. Colorado
- [15] Ojolo, S.J. Abolarin, S.M. dan Adegbenro, O. 2012. *Development of a Laboratory Scale Updraft Gasifier*. *International Journal of Manufacturing System*. ISSN 2152-1913.
- [16] Panji, Khairumizan. 2008. *Studi Eksperimental Implementasi Venturi Scrubber Pada Gasifikasi Batu Bara*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok
- [17] Prabir, Bassu. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis : Practical Design*. UK : Elsevier
- [18] Preetha, R. dan Kamaraj, S. 2017. *Design and Development of Updraft Gasifier Using Solid Biomass*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Vol 6 No 4 2017 pp. 182-189. ISSN 2319-7706.
- [19] Reed, T. B. and A. Das. 1988. *Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems*. Solar Energy Research Insititute, 1617 Cole Boulevard, Golden, Colarado 80401-3393.
- [20] Sari, Siti. Yenie, Elvi. dan Elystia, Shinta. 2015. *Studi Timbulan, Komposisi dan Karakteristik Fisika dan Kimia (Proximate Analysis) Sampah Non Domestik di Kecamatan Tampan Pekanbaru*. *Jom FTTEKNIK* Volume 2 No.1 Februari 2015
- [21] Seadi, Teodorita. 2008. *Biogas Handbook*. University of Southern Denmark Esbjerg, ISBN 987-87-992962-0-0.
- [22] Sirodjuddin dalam Yunita. 2013. *Mengenal Lebih Dekat Sampah Anorganik Sebagai Upaya Peningkatan Kualitas Lingkungan Hidup*. Makalah PPM. Universitas Yogyakarta

- 
- [23] Tsunatu, Trickson, Sam, Namo. 2015. *Municipal Solid Waste as Alternative Source of Energy Generation : A Case Study of Jalingo Metropolis – Tarabata State. International Journal of Engineering and Technology*. Volume 5 No 3 Maret 2015. ISSN 2049-3444.
- [24] U.S. *Enviromental Protction Agency*. 2007. *Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies*. USA: EPA
- [25] Widyawidura, Wira. Irene Pongoh, Jovita. 2016. *Potensi Waste to Energy Sampah Perkotaan untuk Kapasitas Pembangkit 1MW di Propinsi DIY*. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal* Vol 1.