

Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrim

Anang Setyo Pramudiyanto¹, Sri Widodo Agung Suedy²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

²Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro;

Email : anangsetyo@students.undip.ac.id (A.S.P), agung.suedy@gmail.com (S.W.A.S);

Abstrak : Pertumbuhan penduduk Indonesia dan kemajuan teknologi yang berkembang sangat pesat, menyebabkan kebutuhan energi juga semakin bertambah. Berbagai cara telah dilakukan untuk memenuhi kebutuhan energi primer terutama dari sumber energi dari berbahan fosil (minyak bumi, gas bumi dan batubara) dengan melakukan eksplorasi/penambangan bahkan menambah volume import BBM, namun belum mampu untuk memenuhi kebutuhan energi primer di Indonesia. Permasalahan lain yang muncul akibat penggunaan energi primer dari berbahan fosil adalah meningkatnya pencemaran dari emisi gas buang yang meningkatkan efek Gas Rumah Kaca dan mempengaruhi perubahan iklim yang ekstrim. Guna mengatasi permasalahan kekurangan energi dan pencemaran dari emisi gas buang, pemerintah Indonesia telah berperan aktif dengan mengoptimalkan penggunaan energi baru dan terbarukan, salah satunya pemerintah Indonesia telah menetapkan rasio elektrifikasi menjadi 100% (KEN) dan mencoba menggantikan sumber daya energi dari berbahan fosil dengan *green energy* terutama biomassa yang diubah untuk menjadi biogas, serta biodiesel yang dimanfaatkan sebagai sumber pembangkitan listrik dan bahan bakar kendaraan bermotor yang ramah lingkungan. Pemanfaatan energi biomassa dengan proses gasifikasi telah berhasil mengurangi emisi kadar karbondioksida. Pengolahan sampah di Indonesia untuk dimanfaatkan baik daur ulang maupun sebagai sumber energi listrik akan dapat menurunkan emisi gas karbondioksida 3% – 11%. Penggunaan sumber energi yang ramah lingkungan diharapkan mampu mengurangi efek Gas Rumah Kaca dan dapat mencegah perubahan iklim yang ekstrim.

Kata Kunci : Biomassa, *Green Energy*, Ramah Lingkungan

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk Indonesia yang terus meningkat dan seiring kemajuan teknologi yang berkembang sangat pesat, menyebabkan kebutuhan energi semakin bertambah. Berbagai macam cara telah dilakukan untuk memenuhi kebutuhan energi primer terutama dari sumber energi dari fosil (minyak bumi, gas bumi dan batubara) dengan melakukan penambangan bahkan menambah volume import Bahan Bakar Minyak, namun hal itu belum mampu untuk memenuhi kebutuhan energi primer di Indonesia.

Penambangan untuk mendapatkan bahan sumber Energi Primer berbahan bakar fosil (minyak bumi, gas dan batubara) telah menyebabkan perubahan ekosistem di area pertambangan yang dapat mengakibatkan berkurangnya keanekaragaman Hayati serta kerusakan lingkungan (BPS, 2018).

Pemenuhan sumber energi primer berbahan fosil untuk dimanfaatkan sebagai energi final (ketenagalistrikan dan transportasi), seringkali mempunyai dampak buruk bagi lingkungan yaitu: meningkatnya emisi gas buang karbondioksida, menyebabkan hujan asam, mengurangi jumlah Ozon dan meningkatkan efek Gas Rumah Kaca. Dampak buruk bagi lingkungan tersebut dapat berpengaruh terhadap perubahan iklim secara ekstrim. Pada tahun 2000 tercatat pencemaran emisi karbondioksida sebesar 60,1 juta ton dan terus meningkat pada tahun 2016 sebesar 97,9 juta ton emisi karbondioksida. Pencemaran udara ini dapat memicu terjadi perubahan iklim yang ekstrim dan bencana alam contohnya bencana alam puting beliung (BPS, 2018).

Sumber energi baru dan terbarukan yang mulai digunakan untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi primer berbahan bakar fosil dan pengaruh dampak buruk bagi lingkungan adalah penggunaan energi dari biomassa. Energi biomassa (biogas, bioethanol dan biodiesel) sudah banyak digunakan termasuk dalam ketenagalistrikan dan penggunaan Bahan Bakar Nabati yang menggantikan peran penggunaan batubara, minyak bumi dan gas bumi (Arhamsyah, 2010).

Pemerintah sangat serius dalam mengurangi pengaruh dampak buruk lingkungan terhadap perubahan iklim secara nasional dengan melibatkan instansi terkait yaitu Bapenas dengan menetapkan kebijakan emisi gas buang rendah karbon pada tahun 2017. Salah satu caranya dengan meningkatkan penggunaan energi baru dan terbarukan untuk menggantikan dan mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi primer yang berasal dari bahan bakar fosil (BPPT, 2019).

Dalam usaha meningkatkan penyediaan energi primer dengan memanfaatkan penggunaan sumber energi baru dan terbarukan, pemerintah menetapkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) melalui peraturan presiden yaitu Perpres No 79/2014 yang menetapkan penggunaan energi baru dan terbarukan untuk mencapai bauran Energi primer sebesar 23% di tahun 2025 dan diharapkan terus meningkat menjadi 31% pada tahun 2050. Kebijakan pemerintah ini kemudian ditetapkan sebagai Rencana Umum Energi Nasional yang termuat dalam Perpres No 22/2017 (BPPT, 2019).

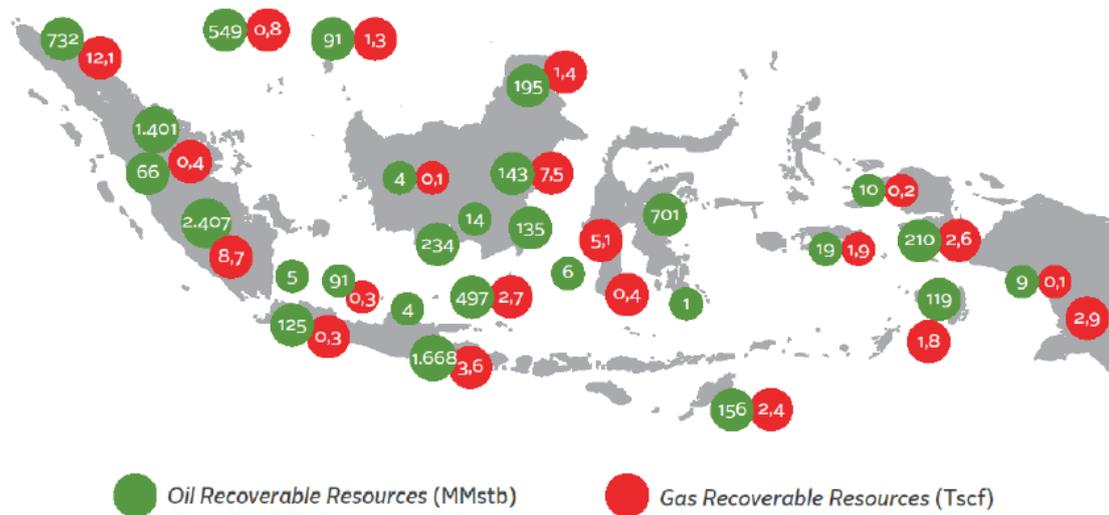
Pemerintah berusaha memanfaatkan energi baru dan terbarukan dengan melihat potensi yang ada di Indonesia untuk mengurangi ketergantungan terhadap Bahan Bakar Minyak menggantikannya dengan Bahan Bakar Nabati dari pengolahan biomassa, namun hal ini masih terkendala dengan biaya investasi teknologi yang masih mahal (BPPT, 2020).

1.2. Potensi Sumber Daya Energi Primer

Pemenuhan kebutuhan Energi tidak bisa lepas dari peran serta pemerintah dalam menerapkan kebijakannya. Energi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dan berkontribusi dalam pembangunan nasional, sehingga memerlukan strategi yang tepat untuk mencapai tujuan sosial, ekonomi dan pembangunan jangka panjang yang berkesinambungan. Kegiatan industri dan pertumbuhan ekonomi dipacu oleh tersedianya sumber daya energi primer. Sumber Daya Energi Primer dibagi menjadi 2 sumber, yaitu: Sumber Daya Energi Primer yang berasal dari sumber bahan bakar fosil (minyak bumi, gas bumi dan batubara) dan Sumber Daya Energi Baru dan terbarukan (EBT) (DEN, 2014).

1.2.1. Potensi Sumber Daya Energi Fosil

Potensi dan cadangan sumber daya energy primer berasal dari fosil di tahun 2018 untuk minyak bumi terdapat kurang lebih 7,51 MB, jika dibandingkan dengan tahun 2017 di tahun yang sama 2017. Potensi untuk minyak bumi persentase-nya berkurang 0,27%. Potensi dan cadangan gas bumi presentase-nya berkurang sampai dengan 5,02% dibandingkan potensi dan cadangan gas. Potensi dan cadangan batubara relatif lebih aman dengan potensi 151,40 MT dan cadangan 39,89 MT dengan waktu perkiraan habis selama kurun waktu 71 tahun (BPPT, 2019).



RESERVE	PROVEN	POTENTIAL	TOTAL
1. Oil (Billion Barrels)	3.15	4.36	7.51
2. Gas (TSCF)	96.06	39.49	135.55

Sumber / Source: Laporan Tahunan SKK Migas (2018) / Annual Report of Special Task Force For Upstream Oil And Gas (2018)
 Ditjen MIGAS 2018 / Directorate General Oil and Gas 2018

Gambar 1. Potensi dan Cadangan Minyak dan Gas Bumi (BPPT, 2019)

1.2.2. Potensi Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan.

Indonesia sebagai negara kepulauan mempunyai sumber daya Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang besar dan potensial untuk dikembangkan, antara lain: air, matahari, angin, panas bumi, ombak laut, gelombang laut, biomassa, dan nuklir. Kekayaan dan keanekaragaman Potensi EBT di Indonesia belum dapat dimanfaatkan secara maksimal berkaitan dengan biaya investasi awal yang masih mahal. Namun pemerintah tetap optimis dengan mendorong pemanfaatan EBT dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Manusia Melalui Permen ESDM No.53/2018 mengenai Pemanfaatan EBT dalam penyediaan pembangkitan Energi Listrik Nasional (BPPT, 2019).

Dengan Berbagai kendala dalam pemanfaatan EBT, Pemerintah tetap berkomitmen untuk mendorong tercapainya tujuan Bauran Energi 23% di tahun 2025 yang telah diamanatkan dalam Kebijakan Energi Nasional (BPPT, 2019).

Tabel 1.
 Potensi Sumber Daya Batubara (BPPT, 2019).

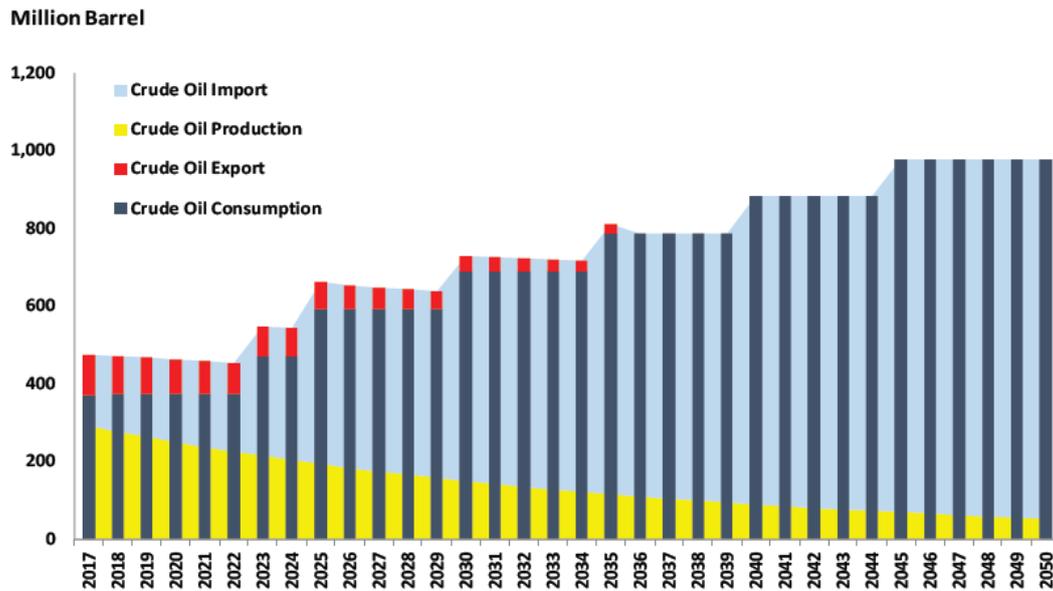
Provinsi	<i>Resources</i> (Million Tonnes)					<i>Reserves</i>
	<i>Hypothetic</i>	<i>Inferred</i>	<i>Indicated</i>	<i>Measured</i>	Total	
Banten	5,47	32,92	12,68	6,50	57,57	7,22
Jawa Tengah	–	0,82	–	–	0,82	–
Jawa Timur	–	0,08	–	–	0,08	–
Aceh	–	138,51	314,22	821,24	1.273,97	570,97
Sumatera Utara	–	7,00	1,84	5,78	14,62	
Riau	3,86	521,22	810,61	525,71	1.861,40	581,26
Sumatera Barat	1,19	156,70	77,06	241,62	476,57	118,14
Jambi	140,31	2.959,85	2.093,83	2.262,16	7.456,15	2.357,35
Bengkulu	–	183,34	193,08	181,01	557,43	177,61
Sematera Selatan	3.099,45	13.062,94	13.686,41	12.100,88	41.949,68	10.077,62
Lampung	–	122,95	8,21	3,53	134,69	11,74
Kalimantan Barat	2,26	375,69	6,85	3,70	388,50	–
Kalimantan Tengah	22,54	5.209,69	2.576,00	2.292,51	10.100,74	2.698,97
Kalimantan Selatan	–	6.817,37	4.949,01	7.607,01	19.373,39	5.110,61
Kalimantan Timur	887,99	13.144,99	26.589,91	23.693,35	64.316,24	16.837,10
Kalimantan Utara	25,79	1.267,53	918,09	1.017,93	3.229,34	1.340,24
Sulawesi Barat	11,46	16,00	0,78	0,16	28,40	1,80
Sulawesi Selatan	10,66	13,90	7,63	0,44	32,63	0,33
Sulawesi Tenggara	0,64	–	–	–	0,64	–
Selawesi Tengah	0,52	1,98	–	–	2,50	–
Maluku Utara	8,22	–	–	–	8,22	–
Papua Barat	93,66	32,82	–	–	126,48	–
Papua	7,20	2,16	–	–	9,36	–
Total	4.321,22	44.068,46	52.246,21	50.763,53	151.399,42	39.890,96

2. Pemanfaatan Sumber Daya Energi Primer

Pemanfaatan sumber daya energi terkait dengan pemenuhan dan kebutuhan akan sumber daya energi primer, sehingga dapat dibuat suatu neraca dengan tujuan untuk pemenuhan kebutuhan energi primer tersebut.

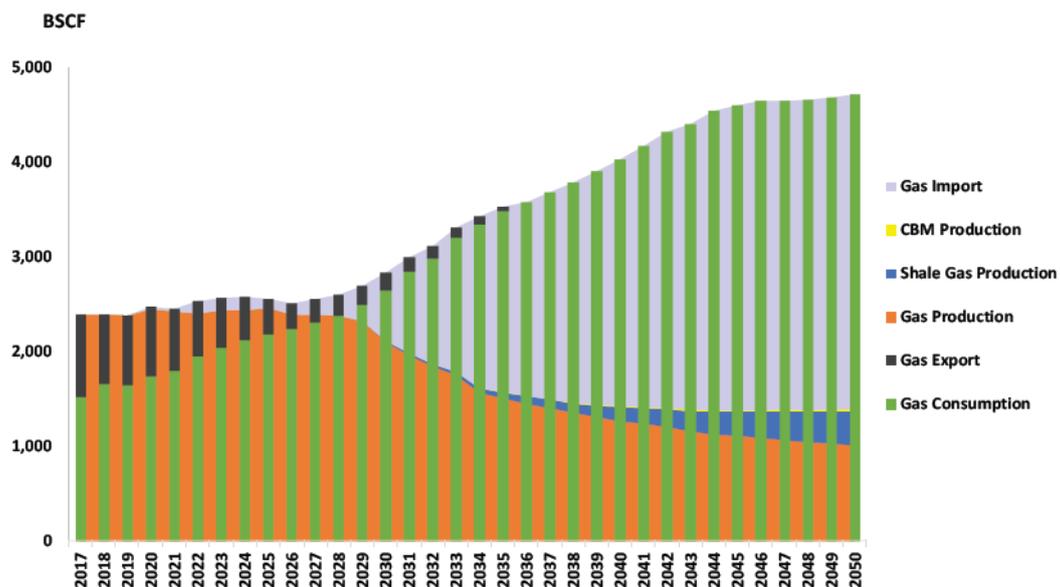
2.1. Neraca Minyak Bumi, Gas Bumi dan Batubara

Minyak dan Gas Bumi sebagai energi primer yang tidak dapat diperbaharui diperkirakan mengalami penurunan sampai dengan 5% per tahunnya, minyak bumi diproduksi pada tahun 2017 sejumlah 292,4 juta barel dan turun sampai dengan 53,8% skala produksinya pada tahun 2050. Pemenuhan kebutuhan minyak bumi dari skema import akan naik persentase-nya 7,7% atau 11 kali dari tahun 2017 sampai dengan 2050 atau setara dengan kapasitas impor pada tahun 2017 sejumlah 102,7 juta barel dan mengalami peningkatan sejumlah 924,9 juta barel pada tahun 2050 (BPPT, 2019).



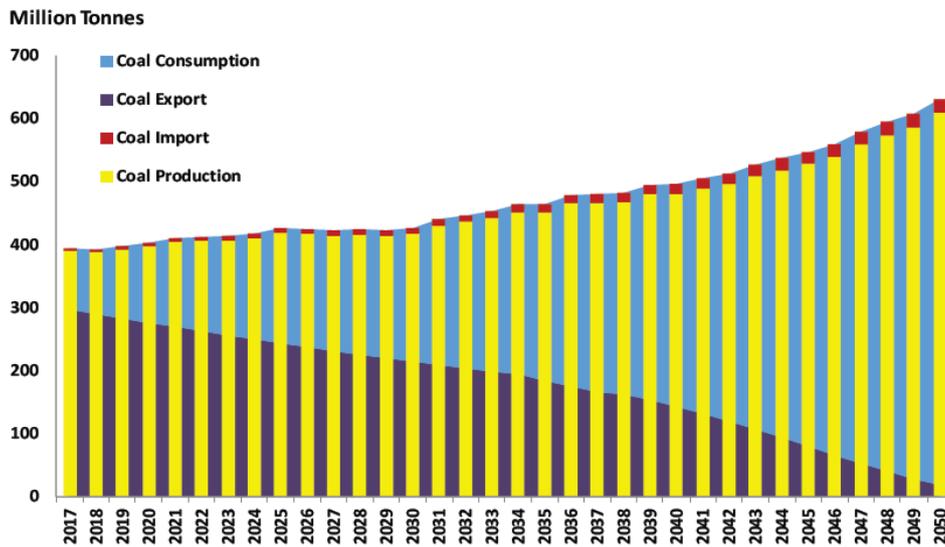
Gambar 2. Neraca Minyak Bumi Indonesia (BPPT, 2019)

Saat ini gas bumi sebagai energi primer menjadi andalan untuk mendapatkan devisa negara dengan menjadi produk komoditi yang dijual keluar negeri, namun seiring bertambahnya kebutuhan energi gas bumi di Indonesia volume ekspor menjadi menurun. Kebutuhan akan gas bumi mengalami kenaikan sampai dengan 3,5% per tahunnya pada tahun 2050, dari 1.516 BSCF pada tahun 2017 menjadi 4.723 BSCF. Sehingga diperkirakan mulai tahun 2028 Indonesia sudah tidak menjadi negara pengeksport gas, namun sudah mulai mengimpor gas bumi untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Jumlah kapasitas produksi batubara dalam negeri Indonesia akan terus mengalami peningkatan kapasitasnya dengan rasio presentase kenaikan sebesar 1% per tahun dan 76% dari kapasitas jumlah produksi batubara dijadikan komoditas ekspor.



Gambar 3. Neraca Gas Bumi Indonesia (BPPT, 2019)

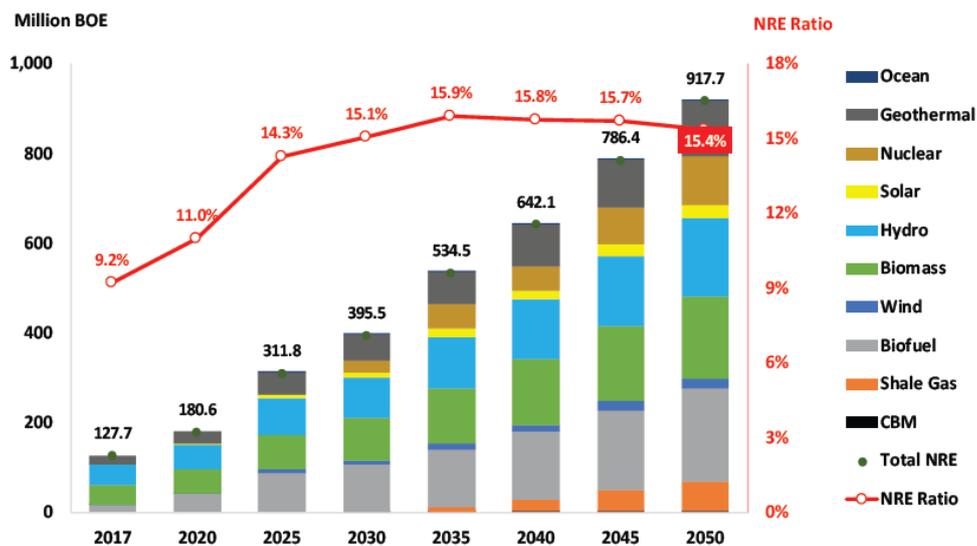
Namun dengan peningkatan kebutuhan batubara dalam negeri, untuk kepentingan pembangkit listrik dan industri diperkirakan jumlah ekspor batubara Indonesia akan berkurang dan terdesepiasi sampai dengan 3% pada tahun 2050 (BPPT, 2019).



Gambar 4. Neraca Batubara (BPPT, 2019)

2.2. Pemenuhan Kebutuhan Energi Baru dan Terbarukan

Kebutuhan energi primer di Indonesia yang semakin meningkat perlu dipikirkan untuk memanfaatkan Potensi EBT secara optimal, Sehingga Indonesia mampu mencapai target bauran energi nasional seperti yang diamanatkan dalam kebijakan energi nasional. Proses Pemanfaatan EBT di Indonesia terkendala dengan masalah klasik yaitu biaya investasi teknologi energi berbasis EBT yang cenderung berbiaya tinggi, sehingga menjadi tantangan tersendiri bagi pemerintah dalam membuat regulasi dan kebijakan terkait dengan pemanfaatan teknologi energi berbasis EBT terutama untuk bidang ketenagalistrikan maupun sebagai Bahan Bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak dan gas bumi terutama untuk sektor transportasi (BPPT, 2019).



Gambar 5. Penyediaan EBT dan Rasio Kontribusi EBT (BPPT, 2019)

3. Ketenagalistrikan

Pertumbuhan tingkat penduduk dan kemajuan dibidang teknologi modern membutuhkan ketersediaan sumber energi listrik untuk pemenuhan kebutuhan dan keberlangsungan di semua sektor terutama sektor industri dan transportasi. Perkiraan peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia mencapai 4.425 kWh/kapita pada tahun 2050 atau menjadi lebih tinggi 5 kali lipat dibanding tahun 2017 yaitu 864 kWh/kapita (BPPT, 2019)

Kebutuhan energi listrik yang meningkat setiap tahunnya membutuhkan pasokan energi listrik, tentunya membutuhkan sumber daya energi primer untuk diubah dan dikonversi menjadi energi listrik. Untuk saat ini pemenuhan energi listrik masih dicukupi oleh pembangkit tenaga listrik berbahan bakar minyak bumi, gas dan batubara (energi primer berbahan baku Fosil). Jumlah ketersediaan akan bahan baku energi primer dari Fosil tersebut jumlahnya terus menurun dan dikawatirkan akan habis apabila tidak ditunjang oleh sumber energi primer lain yang dapat diperbaharui.

Sumber energi primer yang saat ini sedang dikembangkan adalah sumber energi Biomassa. Sarana transportasi yang saat ini masih bergantung terhadap bahan bakar minyak telah mulai dialihkan dan disubstitusi kebutuhannya dengan memanfaatkan bahan bakar gas (BBG) dan BBN. Pemerintah mulai menerapkan teknologi modern untuk merubah BBN jenis B20 menjadi BBN jenis B30 dan diterapkan tahun 2020 dan untuk kelanjutan teknologinya akan ditingkatkan menjadi B50 dengan tujuan mengurangi ketergantungan BBM impor ,meskipun harus melalui beberapa kajian termasuk kajian teknis dan ekonomi (BPPT, 2019).

Pemerintah juga berperan aktif dalam peningkatan penyediaan Energi Listrik dari sumber energi baru dan terbarukan khususnya Energi dari Biomassa. Sampah yang juga merupakan salah satu sumber energi biomassa dapat diolah dan ditingkatkan menjadi sumber energi final baik berupa tenaga listrik maupun berupa biogas melalui penerapan teknologi modern. Biogas hasil dari gasifikasi sampah dapat digunakan untuk pemenuhan kebutuhan energi final salah satunya untuk kebutuhan sektor rumah tangga yaitu memasak menggunakan gas dari pengolahan sampah.

3.1. Teknologi Pengolahan Biomassa

Teknologi pengolahan biomassa untuk saat ini telah berkembang dengan cepat dengan suksesnya pemerintah menerapkan B10 untuk keperluan biodiesel. Biodiesel sendiri selain digunakan sebagai Bahan Bakar Nabati untuk keperluan transportasi, juga telah digunakan untuk kepentingan Pembangkit Listrik Biodiesel dengan mencampurkan biodiesel 10% dengan solar yang telah sukses digunakan untuk saat ini (Imam Kholiq, 2015).

Pemerintah berambisi untuk meningkatkan penggunaan BBN ke jenis B30 untuk digunakan sebagai sumber pembangkitan energi listrik. Bahkan Pemerintah sudah melalui kementerian ESDM telah menginisiasi pembangunan PLTD belitung berbahan bakar 100% CPO. Tentunya hal ini merupakan sebuah terobosan teknologi guna mencapai kemandirian dan mengurangi ketergantungan akan Bahan bakar minyak dan gas bumi (<https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/04/10/2206/ditjen.ebtke.serahkan.aset.senilai.rp.96.miliar.ke.pemkab.belitung>).

3.2. Pengolahan Biomassa Dengan Berbahan Baku Sampah Menjadi Energi Listrik

Tingkat pertumbuhan penduduk setiap tahunnya akan mempengaruhi jumlah volume timbulan sampah yang terus bertambah setiap tahunnya, Menurut data statistik dari Biro Pusat Statistik Indonesia Jumlah timbulan sampah nasional pada 2025 diperkirakan mencapai 71,2 juta ton per tahun. Dan tentunya apabila tidak dilakukan upaya yang serius dalam penanganannya maka diperkirakan pada tahun 2050 Jumlah timbulan sampah akan menjadi lebih dari dua kali lipat dari sekarang (Badan Pusat Statistik, 2018).

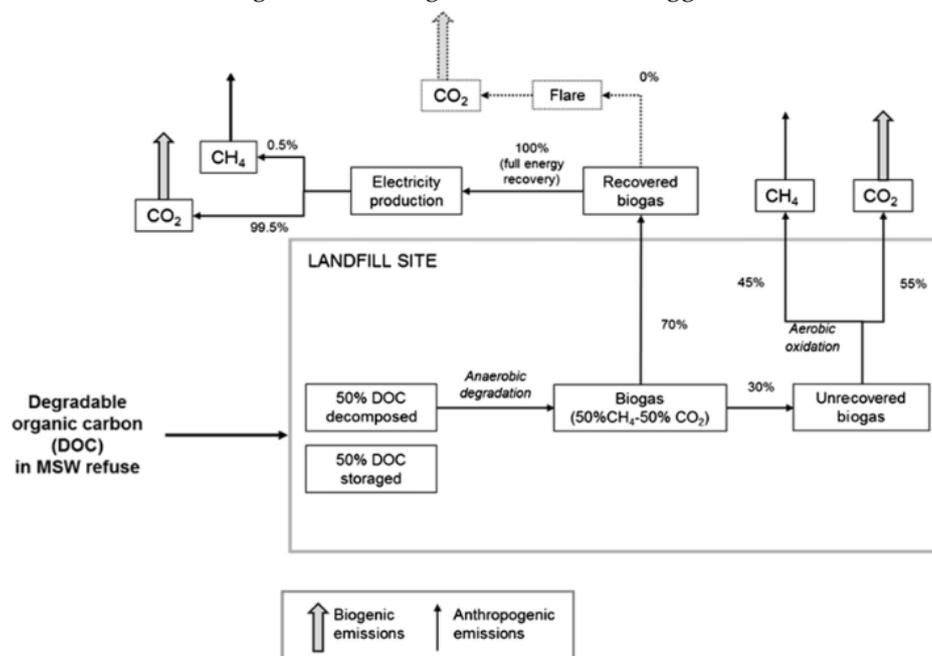
Manajemen dan pengelolaan sampah yang kurang baik dapat menimbulkan Efek Gas Rumah Kaca (GRK), dimana menjadi perhatian di dunia. Menurut perkiraan Bank Dunia(World Bank) Emisi Gas Rumah kaca yang ditimbulkan dari penumpukan sampah mencapai 1,6 miliar ton emisi Karbondioksida yang menyebabkan efek Gas Rumah kaca pada tahun 2016 atau sebesar 5 persen dari emisi global dan diperkirakan akan terus naik sebesar 2,6 miliar ton emisi karbondioksida pada tahun 2050 (BPS, 2018).

Pemerintah Indonesia memperhatikan masalah manajemen pengelolaan sampah ini, salah satunya dengan membuat kebijakan yang dituangkan dalam Peraturan Presiden (Perpres) No.35 tahun 2018 tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolahan Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan (Pemerintah Republik Indonesia, 2018). Program Pemerintah untuk mewujudkan Sampah menjadi Energi Listrik (program *Waste To Energy*), sudah mulai dilakukan dan di inisiasi oleh Pemerintah. Antara lain dengan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di Jatibarang Semarang (Nurhadi dkk, 2020).

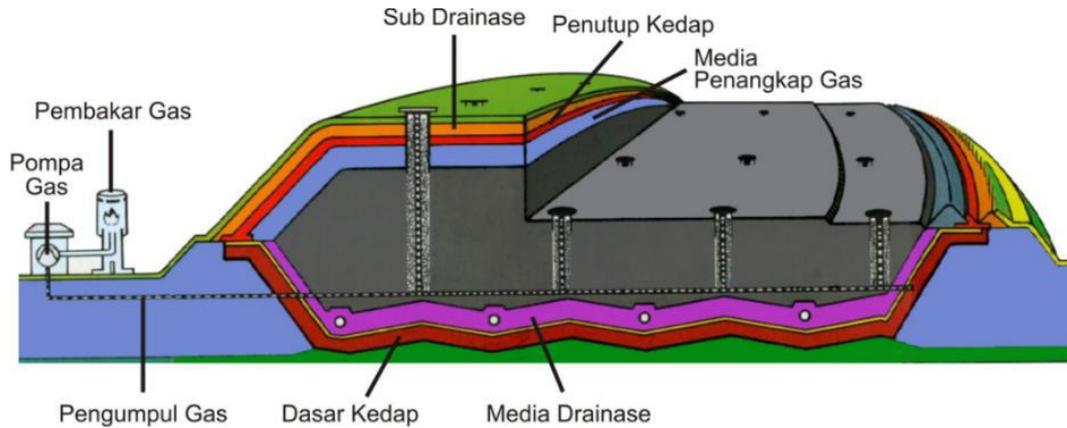
PLTSA Jatibarang menggunakan Teknologi *Landfill* Gasifikasi untuk sumber Pembangkitan Ketenagalistrikkannya.

3.2.1. *Landfill* Gasifikasi untuk Pembangkit Listrik.

Landfill Gasifikasi adalah pengolahan sampah untuk dijadikan gas dengan melalui proses methanisasi, kemudian hasil gas tersebut digunakan untuk menggerakkan *Turbine Gas Generator*.



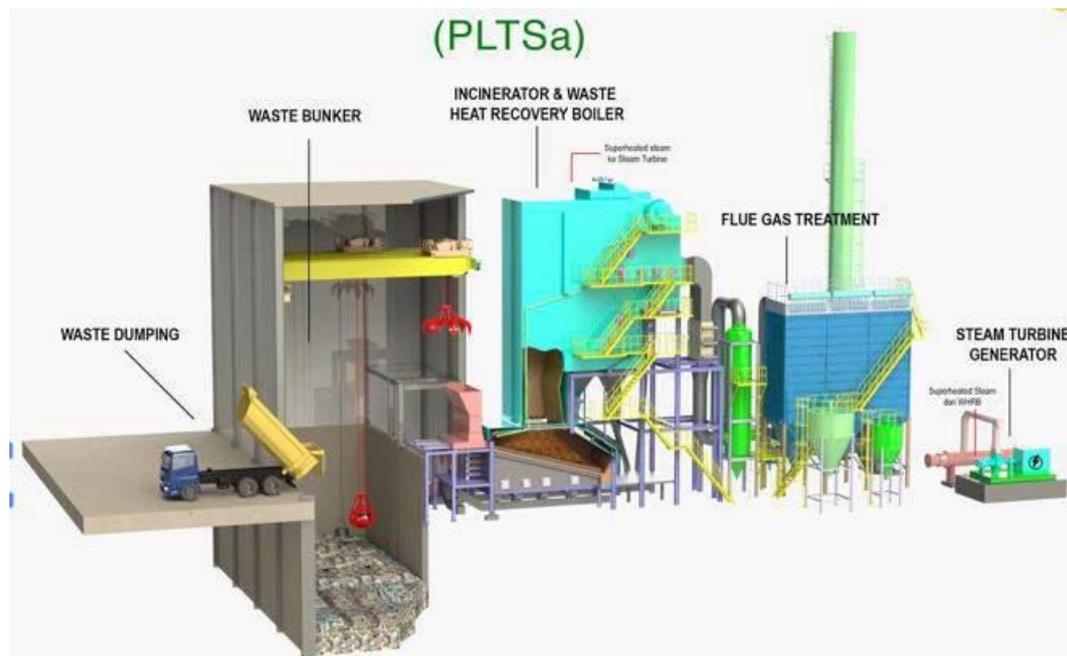
Gambar 6. Proses Landfill Gasifikasi untuk Pembangkitan Listrik (BPSDM PU, 2018)



Gambar 7. Pengumpul Gas (BPSDM PU, 2018)

3.2.2. Insinerasi untuk Pembangkit Listrik

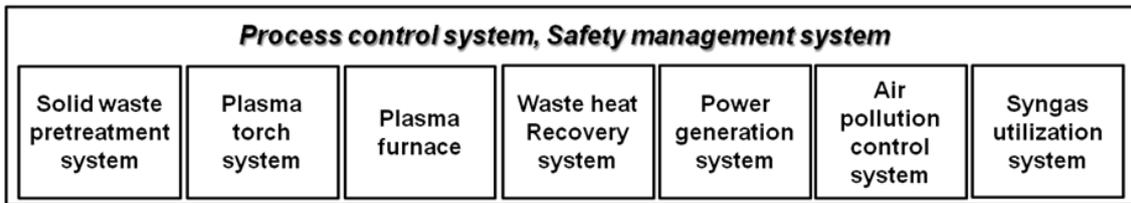
Pembangkit Listrik Tenaga Sampah dengan menggunakan teknologi insinerasi dilakukan dengan pembakaran sampah di ruang pembakaran (*Furnace*) kemudian panas dari pembakaran Sampah di gunakan untuk memanaskan air (*Steam*) dan steam tersebut digunakan untuk menggerakkan *Steam Turbine* sehingga menghasilkan daya listrik (Winanti, 2018).



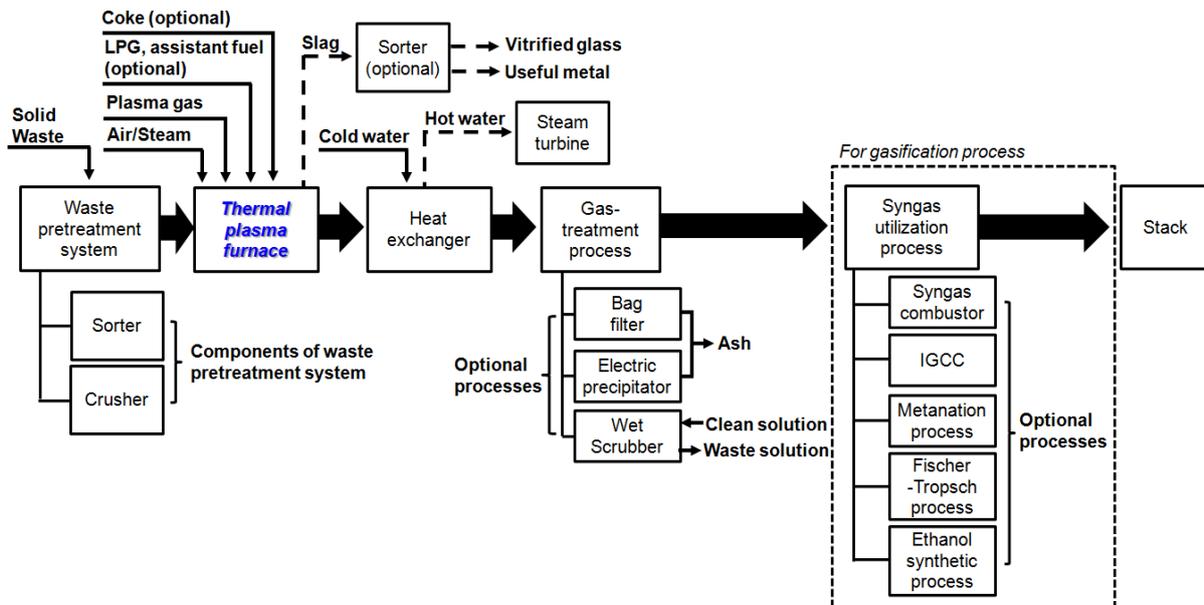
Gambar 8. Unit Pilot Project Pengolahan Sampah Proses Termal (PLTSa) (Winanti, 2018)

3.2.3. Plasma Gasifikasi untuk Pembangkit Listrik

Teknologi Plasma Gasifikasi mengolah sampah menjadi plasma panas yang dapat digunakan memanaskan *steam* dan digunakan untuk pembangkit listrik serta menghasilkan sintesis sintesis gas (H_2 , CO , O_2 , CH_4) yang dapat digunakan juga sebagai pembangkitan listrik serta produk sisanya limbah padat yang dapat digunakan sebagai aspal, dan sedikit debu (Byun et al., 2012).



Gambar 9. Proses Plasma Gasifikasi (Byun et al., 2012)

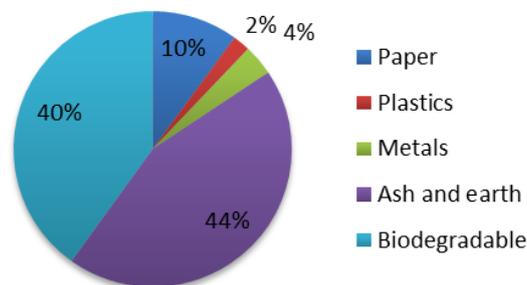


Gambar 10. Skema Proses Lengkap Gasifikasi Plasma (Byun et al., 2012)

4. Material dan Metode

Material yang akan dibahas dalam tulisan ini adalah material sampah kota (*multiple solid waste/MSW*) yang ada di Mumbai di India (Gandhi, 2015) dengan komposisi sampah dalam gambar 11.

Composition of solid waste of Mumbai



Gambar 11. Komposisi Sampah di Mumbai India (Gandhi, 2015)

4.1. Proses gasifikasi Plasma

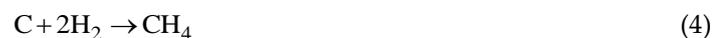
Proses gasifikasi Plasma seperti terlihat di gambar 10. Temperatur di dalam *Thermal plasma furnace* (Reaktor gasifikasi plasma) berkisar $5.000^{\circ}\text{C} - 7.000^{\circ}\text{C}$, sehingga mampu merubah material sampah menjadi sintetis gas. Sintetis gas yang dihasilkan dalam temperature $1.000^{\circ}\text{C} - 1.200^{\circ}\text{C}$ dimasukkan dalam penukar panas (*Heat Exchanger/HE*) dan digunakan untuk memanaskan air menjadi *Steam* untuk menggerakkan *Steam Turbine* dan sintetis gas yang keluar dari HE masuk kedalam gas *treatment* sehingga menghasilkan sintetis gas yang bersih yang dapat dijual atau digunakan untuk menghidupkan gas *turbine*.

4.2. Plasma Torch

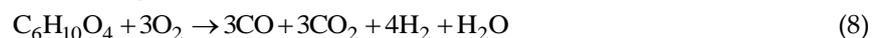
Plasma Torch (Obor Plasma) terdiri dari 3 komponen penting yaitu : Katoda, tahap injeksi gas pembentuk plasma, dan anoda. *Plasma Torch* berfungsi untuk menaikkan suhu sampai dengan 10.000 K sehingga material sampah dapat berubah ke dalam bentuk gas. *Plasma Torch* menggunakan daya listrik berkisar antara 10 dan 100 kW, arus busur antara 250 dan 1000 A, tegangan busur antara 30 dan 100 V, dan laju aliran antara 20 dan 150 slpm (liter standar per menit) (Gandhi, 2015).

4.3. Reaksi Gasifikasi Plasma

Gasifikasi plasma mengikuti proses reaksi dari stoikiometri, dengan reaksi utamanya:



Berdasarkan komposisi dalam sampah (MSW) dapat dinyatakan dalam komposisi $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$ (Gandhi, 2015) dengan reaksi kimia sebagai berikut:



5. Hasil dan Pembahasan

Keseimbangan energi dalam Reaktor gasifikasi plasma diberikan dalam tabel 2. Energi yang diperoleh saat terbentuknya sintetis gas dapat diasumsikan bahwa sintetis gas membawa sekitar 90% energi sampah (MSW). Energi dalam sintetis gas 80% berupa energi kimia dan 20% adalah energi termal dalam bentuk panas. Dalam satu ton MSW energi yang diproses adalah 2.683,53 kWh.

Energi listrik yang dapat dihasilkan sebesar 500 – 600 kwh per ton MSW dengan menggunakan Steam Turbine, untuk siklus gabungan Gas Turbine dan Steam Turbine dihasilkan energi listrik sebesar 1.000 – 1.200 kwh per ton MSW. Produksi dengan siklus gabungan terpadu (*Integrated Gasification Combined Cycle/IGCC*) menghasilkan Energi listrik sebesar 40 MW hingga lebih dari 200 MW. Gasifikasi plasma untuk pengolahan sampah dibandingkan dengan teknik pengolahan sampah yang lain dalam produksi energi listrik dapat dilihat dalam tabel 3.

Tabel 2.
 Keseimbangan Energi dalam *Plasma Furnace* (Gandhi, 2015)

Komponen	Input (kWh/Ton)	Output (kWh/Ton)
MSW	2.505	
Coke (LHV = 32,8 MJ/kg)	$32,8 \times 10^6 \times 0,0196 \times$ $2,777 \times 10^{-7} \times 10^3$ $= 178,53$	
<i>Plasma Torches</i> (6 <i>Torches</i> consuming 300 kW each & efficiency 70% with the feed flowing at a rate of 10 Ton/Hour)	$\frac{6 \times 300 \times 0,7}{10} = 126$	
<i>Syngas</i> (Assuming 10% losses and out of the remaining 80% gets converted to chemical energy and 20% to thermal energy which is not recovered)		$0,9 \times 0,8 \times 2.683,53 = 1.932,14$
<i>Slag</i>		<i>Energy from slag is not recovered since it has to be rapidly cooled.</i>

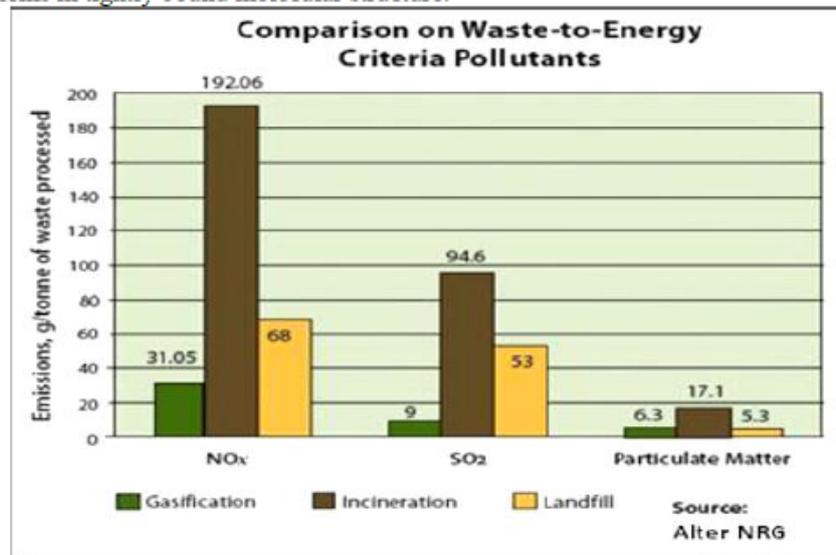
Tabel 3.
 Produksi Energi Listrik dalam Beberapa Proses (Gandhi, 2015)

Process	Electricity to Grid (kWh/Ton)
<i>Plasma Arc Gasification</i>	816
<i>Conventional Gasification</i>	685
<i>Fixed/Fluidized Bed Technologies</i>	
<i>Pyrolysis & Gasification</i>	685
<i>Thermoselect Technology</i>	
<i>Pyrolysis</i>	571
<i>Mitsui R21 Technology</i>	
<i>Incineration</i>	544
<i>Mass Burn Technology</i>	

Gasifikasi Plasma mengolah limbah sampah dengan cara merubah material sampah menjadi gas sintetis tanpa melakukan pembakaran dan penimbunan lahan. Perbandingan pengolahan sampah dengan metoda gasifikasi dengan teknik yang lain dapat dilihat dalam Gambar 12.

Teknologi pengolahan sampah dengan menggunakan plasma gasifikasi yang diterapkan dengan data sampah di Mumbai India yang mempunyai kesamaan karakteristik sampah di Indonesia. Teknik plasma gasifikasi layak dipertimbangkan untuk dikembangkan di Indonesia.

Teknik plasma Gasifikasi selain dapat memproduksi Energi listrik 816 kWh/ Ton sampah juga tidak menyebabkan emisi karbondioksida.



Gambar 12. Kriteria Polutan Gasifikasi Plasma Dibandingkan Pengolahan Sampah yang Lain (Gandhi, 2015)

6. Kesimpulan

Energi primer biomassa sudah selangkah untuk dikembangkan sebagai energi masa depan yang ramah lingkungan karena mempunyai keuntungan:

- Dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi berbahan fosil (minyak bumi, gas bumi dan batubara)
- Mempunyai produk energi final yang beragam yang dapat menggantikan energi Fosil

Dapat mengurangi Efek Rumah Kaca dengan tidak adanya emisi karbondioksida.

Daftar Pustaka

- (BPPT) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2019). Indonesia Energy Outlook 2019: The Impact of Increased Utilization of New and Renewable Energy on the National Economy.
- Arhamsyah, A. (2010). Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 2(1), 42. <https://doi.org/10.24111/jrihh.v2i1.914>
- Badan Pusat Statistik. (2018). Statistik Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) 2018. Badan Pusat Statistik/BPS–Statistics Indonesia, 1–43. <https://doi.org/3305001>
- BPPT. (2020). Indonesia Energy Outlook 2020 - Special Edition.
- BPSDM PU. (2018). Modul 08 - Teknologi Termal WtE Berbasis Gasifikasi. Modul Teknologi WtE.
- Byun, Y., Cho, M., Hwang, S.-M., & Chung, J. (2012). Thermal Plasma Gasification of Municipal Solid Waste (MSW). *Gasification for Practical Applications*, October. <https://doi.org/10.5772/48537>
- Gandhi, H. (2015). Plasma Gasification: From a Dirty City to a Heavenly Place and from Waste Solids to Clean Fuel. *IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1(11), 18–24.
- Imam Kholiq. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK*, 19(No 2), 75–91.
- Ketua, S., Energi, D., & Bab, I. (2009). Dewan energi nasional. September.

Nurhadi, N., Windarta, J., & Ginting, D. (2020). Evaluasi Pemanfaatan Gas TPA Menjadi Listrik, Studi Kasus TPA Jatibarang Kota Semarang. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(1), 19–25. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.8134>

Pemerintah Republik Indonesia. (2018). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2018 tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolah Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan (p. 18). <https://setkab.go.id/wp-content/uploads/2018/04/Perpres-No.-35-Tahun-2018.pdf>

Winanti, W. S. (2018). Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa). *Prosiding Seminar Nasional Dan Konsultasi Teknologi Lingkungan*, 58, 1–5. https://enviro.bppt.go.id/Publikasi/ProsidingTekLing2018/Makalah II.8_Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah....pdf